STEREOPHOTOGRAMMETRIE IN DER KIEFERORTHOPÄDIE

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich - Wilhelms - Universität
zu Bonn

vorgelegt von
WOLFGANG LEINER
aus Pirmasens/Pfalz

Bonn 1976

STEREOPHOTOGRAMMETRIE IN DER KIEFERORTHOPÄDIE

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich - Wilhelms - Universität
zu Bonn

vorgelegt von
WOLFGANG LEINER
aus Pirmasens/Pfalz

Bonn 1976

Angefertigt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät
der Universität B o n n

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. Schmuth
2. Gutachter: Prof. Dr. Hoppe

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Aus der Poliklinik für Zahn- Mund- und Kieferkrankheiten
Abt. Kieferorthopädie
Direktor: Prof. Dr. Dr. Schmuth

Druck: Richard Schwarzbold, 5305 Witterschlick b. Bonn

Meinen Eltern

in Dankbarkeit

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41523717_0007

Inhaltsverzeichnis

1. P r o b l e m s t e l l u n g 7

1.1 Bedeutung der Messung in der Kieferorthopädie 7

1.2 Bisherige Meßmethoden 8

1.3 Probleme bisheriger Meßmethoden 8

1.4 Anforderungen an neue Methoden 9

2. L i t e r a t u r ü b e r s i c h t 10

2.1 Grundlagen des 3-dimensionalen Sehens, Photographierens und Messens 10

2.2 Photogrammetrie 13

1. mathematische Grundlagen 13

2. optische Grundlagen 16

3. photographische Grundlagen 17

4. optische Hilfsmittel zum stereoskopischen Sehen 18

5. Orientierung stereoskopischer Bilder 20

6. stereoskopisches Messen 20

7. Meßgeräte 22

3. S p e z i e l l e L i t e r a t u r 23

Vorbemerkung 23

3.1 3-dimensionale Vermessung von Stereoaufnahmen des Objekts direkt 24

3.2 3-dimensionale Vermessung von Photographien des Gipsmodells des Objekts 30

3.3 3-dimensionale Vermessung direkt an Modellen 33

3.4 Zusammenfassung mit Tabelle 36

4. E i g e n e U n t e r s u c h u n g e n 45

1. Einleitung 45

2. Grundsätzliche Probleme und Voraussetzungen 45

3. Auswahl der Methode 46

3.1 Messungen vom Objekt direkt 46
3.2 Messungen vom Gipsmodell des Objekts 47
4. Die Anordnung des Aufnahmesystems 51
5. Die Orientierung des Patienten 54
6. 3-dimensionale Vermessungen von Photographien des Gipsmodells 59
7. Zur Frage der elektronischen Datenverarbeitung 61
8. Zur Frage der Rekonstruktion von Modellen aus Stereophotographien 62

5. S c h l u ß f o l g e r u n g e n 63

6. Z u s a m m e n f a s s u n g 66

7. B i l d m a t e r i a l s a m m l u n g 68

8. L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s 73

1. Problemstellung

1.1 Bedeutung der Modellanalyse in der Kieferorthopädie

Die Analyse von Kieferabgüssen aus Gips, deren visuelle Beurteilung und meßtechnische Erfassung, liefern dem Kieferorthopäden zusammen mit der Beurteilung der Beziehung des Gebisses zum Schädel und zum Gesicht wichtige Hinweise für Planung der Behandlung einer Fehlentwicklung des Kauorgans, einer Dysgnathie.

Bei der Beobachtung der Gebißentwicklung eines Kindes können fortlaufende Messungen die durch das Kieferwachstum bedingten Dimensionsveränderungen zahlenmäßig dokumentieren. Man darf jedoch nicht in den Fehler verfallen, Wachstumsvorgänge streng mathematisch erfassen zu wollen. Die Meßwerte aus der Modellanalyse z.B. sind nur dann wertvoll, wenn Meßpunkte präzise festgelegt werden können.

Zahlreiche Verfahren wurden entwickelt, Sollwerte für das "Normalgebiß" festzulegen (PONT u.a.), die z.T. bis heute Anwendung finden. Unumstritten ist keines von ihnen, sie können meist nur als grobe Richtlinien dienen.

An der Kölner Universitäts-Zahnklinik wurde 1961 - ausgehend vom kieferorthopädisch Erreichbaren - eine einfache Form entwickelt, die der Praxis einigermaßen gerecht wird (SCHMUTH u. Mitarbeiter). Nicht das anatomisch korrekte "Normalgebiß", sondern das individuell erreichbare, funktionelle und ästhetische Optimum ist damit in den Mittelpunkt der Therapie gerückt. Diesem Ziel müssen auch alle anderen meßtechnischen Verfahren dienen.

Über den Wert von Messungen in der Kieferorthopädie bestehen unterschiedliche Auffassungen.
Die einen halten sie für weitgehend überflüssig, aus dem Lager der Gnathologen kommt neuerdings der Vorwurf, daß die Kieferorthopäden zu ungenau messen. Diese beiden Meinungen stellen vielleicht

Extreme dar. Fest steht indes, daß Messungen und ihre schriftliche Sammlung wichtige Dokumentationsunterlagen sind, anhand deren Erfolge und Mißerfolge in der Therapie festgestellt werden können.
Manche wissenschaftliche Arbeit wäre ohne die Sammlung von Meßdaten nicht möglich.
Die Reproduzierbarkeit wird freilich auch bei gnathologischen Untersuchungen neuerdings ebenso angezweifelt wie bei Fernröntgen-Analysen.

1.2 Bisherige Meßmethoden

Die meßtechnische Erfassung des Gebisses erfolgt heute fast ausnahmslos durch eine vorwiegend 2-dimensionale Modellanalyse. Hierfür wurden verschiedene Methoden entwickelt, als Meßwerkzeuge dient ein Zirkel. Ein kompliziertes Exemplar, der KORKHAUS-Zirkel, hat sich als unzweckmäßig erwiesen, weil auf einer verkleinerten Skala abgelesen wird, was Fehler ergibt. Bei uns wird ein einfacher Meßzirkel und eine Meßplatte (SCHMUTH) verwendet, die einfach auf das Modell gelegt wird.

Die Zahnbogengrößen werden an korrespondierenden OK- und UK-Modellpunkten gemessen und mit individuell errechneten Sollwerten verglichen. Die gefundenen Werte hält man in einem Befundheft schriftlich fest.

1.3 Probleme bisheriger Meßmethoden

Hauptsächlich stellen sich 4 Probleme:

1. Wie groß sind Meß- und Blickrichtungsfehler beim herkömmlichen Meßverfahren?
2. Wie genau gibt das Gipsmodell die tatsächlichen räumlichen Verhältnisse im Mund wieder?
3. Wie kann das Meßverfahren rationalisiert und systematisiert werden?
4. Wie können gewonnene Meßwerte so gesammelt werden, daß sie je-

derzeit zu Untersuchungen und wissenschaftlichen Arbeiten herangezogen werden können?

Auf diese Fragen soll im Verlauf der Arbeit, so weit wie in ihrem Rahmen möglich, eingegangen werden.

1.4 Anforderungen an neue Methoden

Die ersten Überlegungen zu dieser Untersuchung entsprangen der Notwendigkeit, die Sammlung und Dokumentation des Patientenmaterials an der Poliklinik für Kieferorthopädie der Bonner ZMK-Klinik vereinfacht und übersichtlich zu gestalten.

Die Gipsmodelle und die Eintragungen im Befundheft sowie Röntgen-Aufnahmen stellen die Dokumentation einer Dysgnathie dar, deren Behandlung entweder noch im Gang oder abgeschlossen ist. Ein Beispiel: von einem Patienten, der sich 3 Jahre in kieferorthopädischer Behandlung befand, existieren 1 Anfangsmodell, 2-3 oder mehr Zwischenmodelle und ein Abschlußmodell.

Gipmodelle und Befundhefte haben sich mittlerweile so angesammelt, daß eine Datenauswertung nur noch unter größtem Geduld- und Zeitaufwand bewerkstelligt werden kann, wenn sie nicht überhaupt unmöglich ist.

Die konkrete Frage lautet hier: "Wie kann eine Dysgnathie optisch und meßtechnisch vollständig dokumentiert werden, ohne daß eine Unzahl von Modellen anfällt?"

Ein zweites Problem ist die Verbesserung des Meßverfahrens an sich.

Beides, Messung und Speicherung der Werte, ist nur dann rationell und sinnvoll, wenn ihre Methoden vereinbar sind.
Diese Aufgabe ist nur zu lösen, wenn man sich des modernen Mittels der Datenverarbeitung, des Computers, bedient.

Es muß also Ziel dieser Arbeit sein, nach Wegen einer Dokumentation zu suchen, die platzsparend ist, und deren Auswertung möglichst wenig Zeit in Anspruch nimmt.

2. Literaturübersicht

Studiert man die Literatur, die sich mit dem Thema der dreidimensionalen Erfassung und Wiedergabe von Objekten in der Medizin und Zahnmedizin beschäftigt, so trifft man auf Untersuchungen, die sich hauptsächlich in 5 Kategorien einteilen lassen:

1. Grundlagen des dreidimensionalen Sehens, Fotografierens und Messens
2. Stereophotogrammetrie vom Objekt direkt
3. Stereophotogrammetrie von Gipsmodellen des Objekts
4. Dreidimensionale Messungen direkt am Gipsmodell
5. Allgemein zum Thema gehörende Literatur.

2.1 Grundlagen des dreidimensionalen Sehens, Fotografierens und Messens

Bevor der Schritt von der zwei- zur dreidimensionalen Messung ausgeführt werden kann, muß man sich mit den Grundlagen dieser Technik vertraut machen.[+])

Natürliches räumliches Sehen

Die Fähigkeit, im Sehvorgang Tiefenunterschiede im Dingraum zu erkennen, setzt sich aus verschiedenen Elementen zusammen:

- perspektivische Größenabnahme entfernter Gegenstände
- Verschleierung durch Luftperspektive
- Verdeckung von Hintergrundbereichen durch Objekte im Vordergrund
- der eigentliche stereoskopische Raumeindruck entsteht jedoch dadurch, daß das Zentralnervensystem zwei nicht ganz übereinstimmende Einzelbilder von beiden Augen zu einem räumlichen Bild vereinigt.

Die Unterschiedlichkeit der Bilder des linken und rechten Auges verdeutlicht folgende Zeichnung:

[+]) die folgenden Ausführungen sind zum Teil in naher Anlehnung an das Lehrbuch "Photogrammetrie" von Finsterwalder/Hofmann geschrieben.

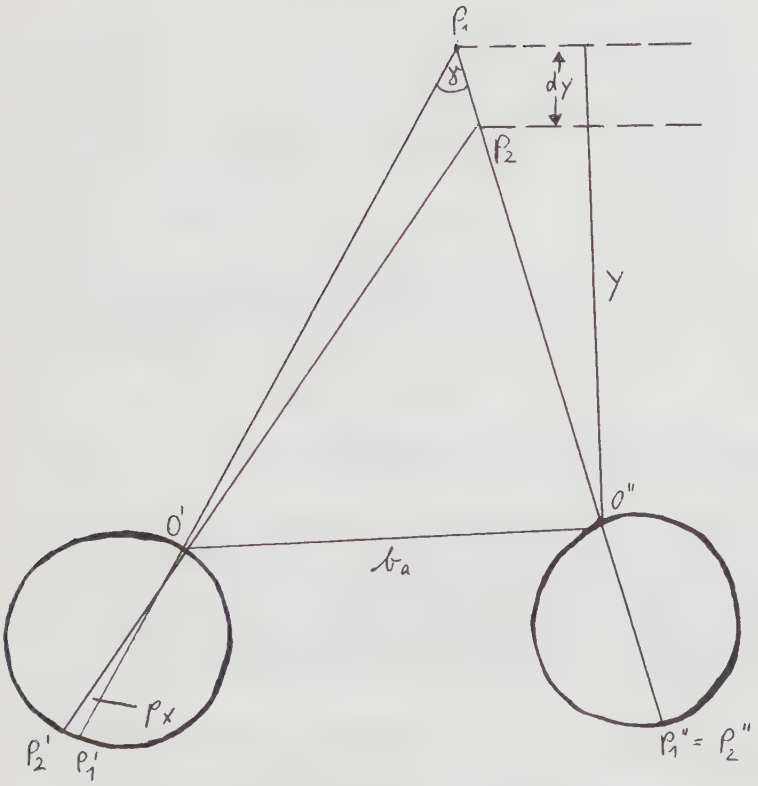


Abb. 1

Zeichnung nach Finsterwalder/Hofmann

O', O'' = Drehpunkte der Augenachsen
b_a = Augenabstand (= 6,5 cm)

Die beiden Augenachsen sind nach dem Punkt P_1 gerichtet, wo sie sich unter dem Winkel γ schneiden

γ = parallaktischer Winkel

P_1 hat von der Augenbasis den Abstand y und wird in den Bildpunkten P_1' und P_2'' abgebildet.

Zugleich mit P_1 wird jedoch auch eine gewisse Umgebung dieses Punktes scharf gesehen, z.B. der Punkt P_2, der um die Größe d_y näher an der Augenbasis liegt.

Während der Bildpunkt P_2'' im Grundriß mit P_1'' zusammenfällt, besitzt P_2' gegenüber P_1' einen seitlichen Abstand p_x, die Horizontalparallaxe, die als Bildunterschied für das Zustandekommen des Tiefeneindrucks maßgeblich ist. Ihre Größe hängt von dem Unterschied d_y zwischen den beiden parallaktischen Winkeln in P_1 und P_2 ab.

Räumliches Sehen mit Hilfe stereoskopischer Bilder

Der Bildeindruck der Augen kann durch photographische Bilder ersetzt werden. Diese müssen die Eigenschaften der Teilbilder des natürlichen Sehens besitzen. Werden sie mit der Augenbasis b_a = 65 mm aufgenommen (was bei Kleinbild-Stereokameras meist geschieht), entsteht ein naturgetreuer Raumeindruck.

Ein ungestörtes Raummodell ist an folgende Bedingungen geknüpft:

- gleichzeitige Zuführung zweier getrennter Bilder
- verschiedene Aufnahmestandpunkte für beide Bilder
- die Blickrichtungen der beiden Augen nach entsprechenden Punkten in den zugeordneten Bildern müssen in einer Ebene liegen.

Prinzipiell ist es möglich, stereoskopische Bildpaare, die obige drei Punkte erfüllen, ohne weitere Hilfsmittel zu einem Raummodell zu vereinigen. Jedoch erfordert dies einige Übung, und selbst der Trainierte hat kein ruhiges und konstantes Raumbild vor Augen.

Deshalb bedient man sich verschiedener optischer Hilfsmittel, die jedem ein leichtes, sicheres stereoskopisches Sehen ermöglichen.

Diese Geräte werden auf Seite 18 vorgestellt.

2.2 Photogrammetrie

"Photogrammetrie oder Bildmessung ist die Vermessung irgendwelcher Objekte nach Lage und Form aus photographischen Bildern dieser Objekte". (LEHMANN)

Die Stereophotogrammetrie befaßt sich mit der Vermessung stereoskopischer Bilder.

HERTZBERG, DUPERTUIS und EMANUEL beschreiben 1957 in ihrem Artikel "Stereophotogrammetry as an anthrometic tool" die Stereophotogrammetrie:

"Das Prinzip der Stereophotogrammetrie ist exakt das des zweiäugigen Sehens. Die beiden Augen senden leicht unterschiedliche Bilder zum Gehirn, wo sie zu einem räumlichen Bild zusammengesetzt werden.
Genauso ist es, wenn ein Stereobildpaar so orientiert wird, daß das linke Auge und das rechte Auge jeweils das linke bzw. das rechte Bild sehen; die Tiefenwahrnehmung ist dann so groß, als sähe man das Objekt direkt. Durch geeignete optische Systeme können Stereophotographien nahezu jeder Art gemacht werden."

Photographien, die zur Vermessung gemacht werden, heißen Meßbilder. Sie lassen sich zweifach nutzen:
1. zur Deutung des Bildinhaltes = BILDINTERPRETATION
2. zur VERMESSUNG

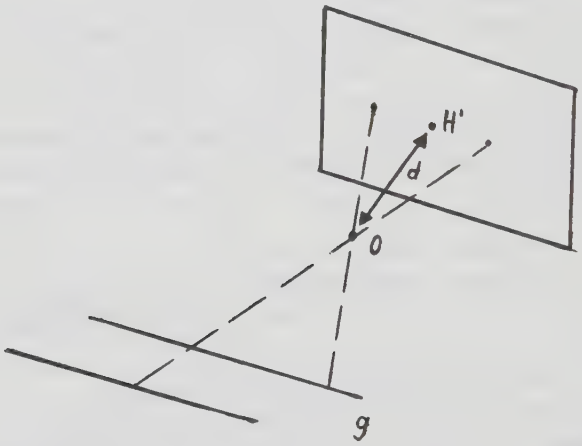
Um das Verständnis der speziellen Literatur zum Thema zu erleichtern, sollen hier einige Grundlagen der Stereophotogrammetrie dargelegt werden.

1. Mathematische Grundlagen

Sollen mit einer Stereokamera Meßbilder angefertigt werden, muß

die Aufnahmeapparatur bestimmte Voraussetzungen erfüllen:

Die geometrische Grundlage ist die Zentralprojektion. "Geometrisch ist dies die Abbildung der Punkte des Raumes auf die Punkte einer Ebene mittels Geraden, die durch einen Punkt außerhalb der Ebene gehen." (FINSTERWALDER/HOFMANN).



H' = Hauptpunkt
O = Projektionszentrum
d = Bilddistanz
g = Geraden des Raumes

Abb. 2

Die Lage von H' im Bild, die durch ein Koordinatensystem bestimmt ist, und das Lot d von diesem Hauptpunkt auf O, das Projektionszentrum, ergeben die sogenannte INNERE ORIENTIERUNG.

Das System der Bildkoordinaten:

Nullpunkt eines cartesischen Bildkoordinatensystems ist das Projektionszentrum O.

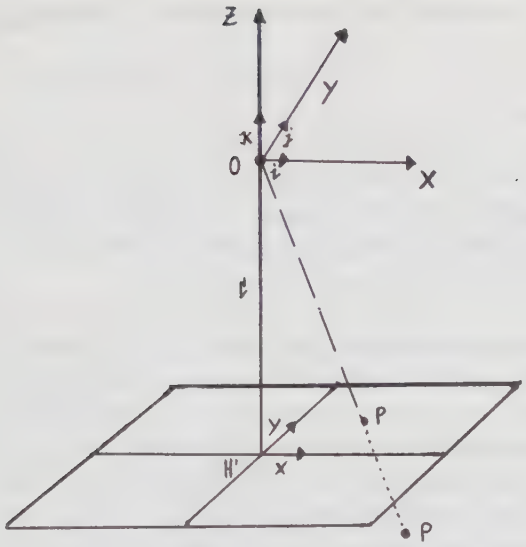


Abb. 3

Die Bildkoordinaten x und y können auf dem Bild direkt gemessen werden, z gleicht der negativen Bilddistanz -c = KAMMERKONSTANTE.

Das System der Raumkoordinaten:

Ein beliebiger Raumpunkt P kann in dem Bildkoordinatensystem mit den Einheitsvektoren $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ festgelegt werden.

Äußere Orientierung:

Mit äußerer Orientierung ist die Beziehung Bild - Objektraum gemeint.
Bekannt für ihre Festlegung müssen sein:

1. die Raumkoordinaten x_o, y_o, z_o
2. die Orientierung des Bildkoordinatensystems im System der Raumkoordinaten.

Diese Orientierung wird von 3 voneinander unabhängigen Winkeln α, β, γ beschrieben (sie sind beliebig wählbar). Somit sind die

6 für die äußere Orientierung notwendigen Größen x_o, y_o, z_o; α, β, γ festgelegt.

2. Optische Grundlagen

Die zentralperspektivische Abbildung ist ein mathematisches Modell. Ein materielles Abbild (Photographie) entsteht aber durch physikalische Vorgänge, die durch verschiedene Einflüsse von der Zentralprojektion mehr oder weniger abweichen.

Anstelle der Geraden in der Projektion tritt in der Optik ein Strahlenbündel. Technisch "einwandfrei" werden Bilder erst durch hochwertige Objektive, bei denen sphärische Längsabweichung, Astigmatismus, Bildfeldwölbung, Koma und Farbfehler weitgehend ausgeschaltet sind. Dies wird erreicht durch eine Objektivkonstruktion mit Linsen verschiedener Glassorten.
Jedoch ergibt sich hier die Frage, ob in einem räumlich so sehr ausgedehnten Objektiv noch ein Projektionszentrum existiert.

Aus hier nicht näher zu erläuternden Gründen besteht es nicht, optische Eigenschaften und Konstruktionsmerkmale der Aufnahmekammer müssen als Bildfunktion in photogrammetrische Meßoperationen eingehen = KAMMERKONSTANTE. Kammerkonstante und Brennweite eines Objektivs stimmen zahlenmäßig nahezu überein, die Kammerkonstante ist jedoch ein geometrischer Parameter, Brennweite ein optischer; beide dürfen also streng genommen nicht miteinander verglichen werden.

Der schon in den "mathematischen Grundlagen" erwähnte Hauptpunkt (s. S. 13), in der photogrammetrischen Praxis als Durchstoßpunkt der optischen Achse durch die senkrecht zu ihr stehenden Bildebene bezeichnet, wird in der Bildebene durch seine Lage in einem Koordinatensystem festgelegt, das durch "RAHMENMARKEN" bestimmt ist. Bei der Belichtung werden Marken auf die Aufnahme übertragen. In sorgfältig justierten Meßkammern fällt der Hauptpunkt mit dem Bildmittelpunkt zusammen, falls die photographische Schicht einer Glasplatte anliegt (nicht etwa nur einem Andrückblech, wie

bei einer serienmäßigen Spiegelreflexkamera).

3. Photographische Grundlagen

"Die Leistungen der photographischen Emulsionen müssen denen des Objektivs entsprechen, damit keine Qualitätsminderung in Bezug auf Schärfe, Detailerkennbarkeit und perspektivische Richtigkeit eintritt." (FINSTERWALDER/HOFMANN, S. 69)

Besondere Anforderungen an Empfindlichkeit, Steilheit der Gradation, Sensibilisierung, gutes Auflösungsvermögen, Feinkörnigkeit usw. werden von den bei uns gebräuchlichen Filmen (Agfa, Kodak) alle erfüllt.

In der Stereophotogrammetrie im Nahbereich stellen sich in Bezug auf Auflösungsvermögen und Kontrast in der Wiedergabe weniger Probleme als für die Luftbildstereophotogrammetrie, da bei ihr durch die dicke Luftschicht zwischen Film und Objekt spezielle Filme und Filter angewandt werden müssen.

Das photographische Material

Jedes photographische Material besteht aus 3 Schichten:
1. Schutzschicht
2. Emulsionsschicht
3. Schichtträger

Als Schichtträger stehen Film und Glas zur Verfügung. Von ihnen werden in der Photogrammetrie eine größtmögliche Volumenkonstanz bei der Verarbeitung und Lagerung verlangt. Diese Eigenschaft besitzt von beiden nur Glas, da aber die Vorteile des Films, Unzerbrechlichkeit, Biegsamkeit, geringes Gewicht und Volumen, viele Bilder in schneller Reihenfolge durch das Film-"Band", aus der modernen Photographie nicht mehr wegzudenken sind, müssen Dimensionsveränderungen erstens durch korrektes Verarbeiten und Lagern klein gehalten, zweitens die sogenannte regelmäßige Schrumpfung (3-5 %) durch eine Änderung des Rechenvorgangs am Auswerte-

gerät korrigiert werden.
Maßgeblich bestimmt wird das Dimensionsverhalten eines Filmes durch Temperatur und Luftfeuchtigkeit.
Volumenveränderungen, mit denen wir uns bei fast allen zahnmedizinischen Werkstoffen beschäftigen müssen, spielen also auch selbst bei der Photographie eine Rolle!

Die photographische Aufnahme

Film:
Der Farbfilm (meist Diapositivfilm) hat in der Luftbildphotogrammetrie und in der medizinischen Photographie weniger aus meßtechnischen Gründen, sondern wegen der Möglichkeit einer exakten Bildinterpretation (z.B. Gingivafarbe) Vorrang erlangt.

Licht:
In der Beleuchtung des Objekts bestehen zwischen terrestrischer und medizinischer Photographie bedeutende Unterschiede. Auf die erste braucht hier nicht eingegangen zu werden.

In der Medizin hat sich bereits der Ringblitz bewährt, der eine konstante Ausleuchtung des Objekts gewährleistet. Die Farbtemperatur beim Elektronenblitz kommt der des Tageslichtes nahe (eine relativ gute Beurteilung der Gingiva z.B. ist auch dadurch möglich).

Manche Wissenschaftler benutzen in der medizinischen Stereophotogrammetrie UV-Licht. Dies ist jedoch nur zu sehr speziellen Zwecken sinnvoll, die in dieser allgemeinen Abhandlung nicht ausgeführt werden sollen.

4. Optische Hilfsmittel zum stereoskopischen Sehen

1. LINSEN-[1] und SPIEGELSTEREOSKOPE[2]

[1] für kleinere Bildformate
[2] für größere Bildformate

Beide Geräte überführen die vom Bild kommenden divergenten Strah-

len in Parallelstrahlenbündel, so daß das Auge auf ∞ akkommodiert; es wird ein ruhiges, sicheres Bild erzeugt.
gebräuchlichste Methode
Nachteil: nur einer kann Bilder betrachten.

2. ANAGLYPHENVERFAHREN

Die beiden Teilbilder werden übereinander gedruckt oder -projiziert, nicht nebeneinander, und zwar in Komplementärfarben (rot-grün).
Durch eine gleichfalls in Komplementärfarben eingefärbte Brille wird das Bild betrachtet. Jedes Auge sieht das zu seinem Filter komplementäre Bild schwarz, das gleichfarbige Bild in der Filterfarbe. Die Klarheit des stereoskopischen Effekts hängt von der Auslöschung der Komplementärfarben durch den entsprechenden Filter ab. Gute Ergebnisse sind durch Leuchtfarben erzielt worden (Anmerkung: auch in Chemie-Lehrbüchern werden Molekülmodelle in dieser Methode vorgestellt. Eine Betrachtung über längere Zeit führt zu Kopfschmerzen und Übelkeit).

Durch die jeweilige Auslöschung der Komplementärfarbe für das einzelne Auge erscheint das Stereobild ziemlich dunkel.

Diese Methode ist letztlich für fast alle Bereiche der Stereophotogrammetrie ungeeignet.

3. POLARISATIONSVERFAHREN

Ein mit 2 Polarisationsfiltern (anstelle der Farbfilter) mit senkrecht aufeinander stehenden Polarisationsebenen projiziertes Bildpaar, das mit einer Polarisationsbrille betrachtet wird, vereinigt sich zu einem hellen Raumbild.

Nachteil dieses Verfahrens ist die große Empfindlichkeit gegen kleine Differenzen in der Polarisationsebene (d.h. bei kleinen Kopfbewegungen bleiben störende Restbilder).

Das Verfahren ist deshalb für die visuelle Bildinterpretation nicht geeignet. Auch die Verwendung spezieller Projektionswände machen es umständlich und teuer.

4. WECHSELBLENDEN

Dieses mechanische Verfahren nutzt wie der Film die Trägheit des Auges aus; die Stereobilder werden nicht zusammen, sondern zeitlich nacheinander projiziert.

Die mechanisch anfällige Konstruktion der Wechselblenden (Frequenz 30-50/sec.) kann durch eine an Wechselstrom angeschlossene Gasentladungslampe ersetzt werden. Dieser Rhythmus muß jedoch in eine Wechselblenden-Brille transponiert werden.
Durch diese können s/w- und Colorbilder betrachtet werden, das Flimmern bzw. Vibrieren der Wechselblenden führt zu denselben Beschwerden wie das Anaglyphenverfahren.

Wechselblenden werden deshalb auf keinem Gebiet angewandt.

5. Orientierung stereoskopischer Bilder

Die Orientierung der Stereo-Einzelbilder zueinander spielt in der Luftbild-Stereophotogrammetrie eine bedeutende Rolle, in der medizinischen Anwendung ist sie hauptsächlich theoretisch von Bedeutung, da durch standardisierte Aufnahmebedingungen die Orientierung automatisch gegeben ist (besonders bei Stereovorsätzen für Spiegelreflexkameras, bei denen das Bildpaar auf ein Negativ projiziert wird).

6. Stereoskopisches Messen

"Der Schlüssel zur Rekonstruktion des Objektraumes aus Stereo-Bildpaaren ist somit die Messung von Horizontalparallaxen." (FINSTERWALDER/HOFMANN S. 94) (s. Bild Nr. 1)

Hierfür muß das stereoskopische Betrachtungssystem mit einer Meßvorrichtung verbunden sein.
Sie besteht aus zwei Meßmarken in den beiden Ebenen der Stereo-Meßbilder; beide können relativ zu den Bildern verschoben werden. Bei stereoskopischer Betrachtung (gleichgültig mit welcher Methode) verschmelzen die beiden Meßmarken zu einer im Raum schwebenden Marke.
Können die beiden Marken gemeinsam um gleiche Beträge in Seite und Höhe und außerdem der seitliche Abstand der rechten Marke gegenüber der linken verändert werden, so läßt sich die Raummarke auf beliebige Punkte des Raummodells einstellen.

Stereoskopisches Messen mit der "wandernden Marke" hat eine lange Entwicklung hinter sich.
PULFRICH konstruierte ein Stereomikrometer (Firma Zeiss), bei dem die Marken direkt auf den Bildern lagen.
(MANSBACH benutzte dieses Gerät, siehe seinen Artikel: "Stereophotographie in der Orthodontie, 1922, Lit.-Anhang.)

Durchgesetzt hat sich die punktförmige Leuchtmarke, die in die Abbildungsebene des optischen Betrachtungssystems projiziert wird oder sich selbst in ihr befindet. Ein Gerät mit dieser Einrichtung stellt der WILD-Stereoautograph dar, der von vielen Autoren (s. Lit.-Anhang) benutzt wird.

Diese wandernde Meßmarke rekonstruiert die räumlichen Koordinaten des zu messenden Bildpunktes.
"Ausgangspunkt" für die Meßmarke ist ein rechtwinkliges Koordinatensystem x,y, das durch mitfotografierte Marken ("Rahmenmarken"), die in der Bildebene der Meßkammer justierbar angeordnet sind, festgelegt ist.

Die erreichbare Meßgenauigkeit hängt von folgenden Faktoren ab:
- Schärfe der optischen Abbildung
- Auflösungsvermögen des Objektivs und der Filmemulsion
- Maßhaltigkeit des Filmmaterials.

Die Meßgenauigkeit bei Verwendung von Hochleistungsobjektiven und maßhaltigem Filmmaterial beträgt wenige µm.

7. Meßgeräte

Komparatoren:

Definition: "Unter einem Komparator versteht man ein mechanisches Schlittensystem, mit dessen Hilfe ein Meßobjekt (ein Meßbild) mit Maßstäben, die in den Bewegungsrichtungen der Schlitten angeordnet sind, verglichen werden kann." (FINSTERWALDER/HOFMANN S. 97)

Die Entwicklung der Meßgeräte für die Stereophotogrammetrie, die 1901 mit dem schon erwähnten Stereokomparator von PULFRICH begann, führte zu den modernen Präzisionskomparatoren, die neben der direkten Ablesung die Registrierung der Bildkoordinaten auf Lochstreifen sowie in Klarschrift ermöglichen.

3. Spezielle Literatur

Vorbemerkung

Der Leser ist nun ganz kurz in die Grundlagen der Stereophotogrammetrie eingeweiht.

Mit der speziellen Literatur zum Thema werde ich so verfahren, daß ich themenverwandte und von der Technik her ähnliche Beiträge in Gruppen zusammenfasse, das Wesentliche herausstelle, und es in Hinsicht auf die Brauchbarkeit für 3-dimensionale Messungen in der Kieferorthopädie kritisch prüfe.

Die Beiträge befassen sich mit vielen verschiedenen Meßvorhaben: Zahn-, Kiefer- und Gesichtsvermessungen zu kieferorthopädischen Zwecken, Gingivamessungen bei Parodontalbehandlungen, Vermessungen ganzer Körper zu anthropologischen und kriminalistischen Studien.

Alle gemeinsam haben die Absicht, mit der Stereophotogrammetrie neue Wege der Vermessung zu gehen, die gegenüber den herkömmlichen entscheidende Vorteile bringt.

Die Artikel in chronologischer Reihenfolge zeigen in eindrucksvoller Weise die Entwicklung der Stereophotogrammetrie in Medizin und Zahnmedizin.
Die Autoren beschäftigten sich damals, vor 30 und 50 Jahren, mit denselben Problemen, mit denen wir auch heute immer noch konfrontiert sind. Die Technik und die Genauigkeit der Messungen ist im Laufe der Zeit verbessert worden. Einige grundlegende Probleme sind heute genauso wie damals noch nicht gelöst.

3.1 3-dimensionale Vermessung von Stereo-Aufnahmen des Objekts direkt

1922 war es MANSBACH, der als erster versuchte, die Stereophotogrammetrie für die Kieferorthopädie nutzbar zu machen.
Was den Autor auf die Idee der Verwirklichung einer 3-dimensionalen Aufnahme- und Wiedergabetechnik brachte, waren die damals unzureichenden Darstellungsmöglichkeiten der Kiefer-Gesichtsbeziehungen (die heute mit der Fernröntgentechnik gut wiedergegeben werden können). ANGLE photographierte nur für Betrachtungszwecke, VAN LOON fertigte Gipsmasken an.
SIMON machte standardisierte Photos, die einen Vergleich untereinander zuließen. SIMON sagte: "Die Plastik des Gipskopfes muß verbunden sein mit der Planimetrie des Bildes."

Diese Forderung Simons versuchte Mansbach in die Praxis umzusetzen.

Seine Technik war einfach, ihr Prinzip hat jedoch heute noch Gültigkeit. Deshalb möchte ich sie hier kurz beschreiben.
Der Autor montierte eine normale Kamera auf einen selbst konstruierten Stativkopf, der sich nach der Seite umklappen ließ. Die Kamera konnte so in zwei Positionen fixiert werden. Dabei wählte Mansbach die Distanz der optischen Achsen 150 mm breit (der durchschnittliche Augenabstand beträgt 65 mm, vgl. S. 14/15). Aus beiden Kamerapositionen photographierte er den Kopf des Patienten. Das stereoskopische Bild wirkte überplastisch, "was in manchen orthodontologischen Fällen recht wünschenswert sein kann" (Mansbach). Er betrachtete das Stereobildpaar mit einem Stereoskop und vermaß es mit dem Stereomikrometer von PULFRICH[+]), dessen Konstruktionsprinzip der "wandernden Marke" (s. S. 21) den modernen Stereokomparatoren zugrunde liegt.
Eine genaue Messung ließ die Konstruktion von Mansbach nicht zu, da die beiden Teilbilder zeitlich nacheinander aufgenommen wurden. Sie enthielten durch Bewegungen des Patienten zwischen den Auf-

---

[+]) vgl. Finsterwalder/Hofmann S. 97

nahmen schon Ungenauigkeiten.

Die Idee von Mansbach geriet längere Zeit in Vergessenheit, bis sie 1939 vom Züricher Institut für Zahnheilkunde wieder aufgegriffen wurde.

THALMANN-DEGEN präzisierte dort die Technik entscheidend. "Mit der immer noch anhaltenden Entwicklung der Photographie und ihrer Teilgebiete (Photogrammetrie, Stereophotogrammetrie, Fernröntgen) eröffnen sich für die schädelbezügliche Diagnose stets neue Möglichkeiten."

Ihre Ausrüstung bestand bereits aus einer Stereokamera (Firma Wild), die mit Filmplatten arbeitete, die allerdings eine Belichtungsdauer von 3/4 sec. benötigten. Als Auswertegerät diente ein WILD-A5-Stereoautograph, ein Vorläufermodell der heutigen Präzisionskomparatoren.

Die Bewegungen mit der "wandernden Marke" wurden auf einen Zeichenstift übertragen; so entstand das "Höhenkurvenbild". Die Kurven haben dabei einen Abstand von 1 cm (bzw. bei Hilfskurven 1/2 oder 1/4 cm).
Dieses Prinzip aus der Geodäsie, mit dem Gebirgszüge auf Landkarten dargestellt werden, findet in vielen Beiträgen zu diesem Thema Anwendung.+)

Zum erstenmal taucht die Frage nach der Orientierung des Patientenkopfes in diesem Aufnahmesystem auf (s. "Äußere Orientierung", S. 15).
"Schon die Fixierung des Schädels im Raum und damit in einem Meßkoordinatensystem (unumgängliche Voraussetzung für vergleichende Messungen) schafft kaum zu überbrückende Schwierigkeiten". (THALMANN-DEGEN, S. 1)

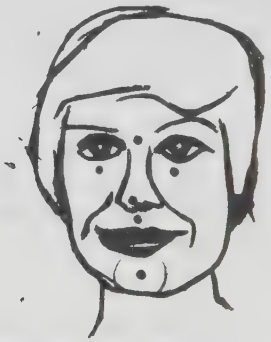
Die Autorin benutzte für die Orientierung den "Züricher Photostat". Der Kopf wird dabei mit Ohrstiften in der Frankfurter Horizontalen gehalten. Bewegungen des Patienten und damit Ungenauig-

---

+) Höhenkurven-Bild-Beispiel siehe Bildmaterialsammlung Bild 1 und 2.

keiten werden dadurch in Grenzen gehalten, daß bei geringsten Bewegungen die spitzen Stifte im äußeren Gehörgang dem Patienten Schmerzen verursachen.
Nach der Orientierung erfolgten Einzeichnungen kephalometrisch wichtiger Punkte auf dem Gesicht.

Abb. 4



Kephalometrische Relationen zwischen Gesicht und Gebiß werden folgendermaßen hergestellt:
durch ein in einem Quetschbiß verankertes Drahtgestell werden Meßpunkte vor das Gesicht gehalten. Durch eine Aufnahme werden diese Meßpunkte "quotiert", wobei die Schablone in Beziehung auf das Gesicht fixiert ist. Nach dieser Aufnahme legte die Autorin die Gipsmodelle in die Schablone und photographierte erneut. Beide Aufnahmen überträgt sie auf eine Höhenlinienkurve (durch Ineinanderprojektion).

Thalmann-Degen machte für ihre Messungen folgende Aussagen über die Genauigkeit ihrer Methode:
Höhenfehler der quotierten Punkte ca. $\pm$ 0,3 mm
mittlerer Lagefehler der markierten Punkte ca. $\pm$ 0,2 mm
(im Orginalmaßstab 1:2)

Fehler bei der biometrischen Messung: Variationsbreite 4 mm
Fehler bei der Höhenkurvenmessung: kein Vergleichswert

"Die biometrischen Maße sind mehrmals sorgfältig gemessen worden, woraus die gute Übereinstimmung mit den aus dem Kurvenbild errechneten zu erklären ist."
Aus diesen Ausführungen geht nicht hervor, welche Werte nun letztlich die besseren sind.

Auf die Frage, ob und wie man aus 3-dimensionalen Photographien das Objekt als naturgetreues Modell rekonstruieren kann - eine Frage, die später wieder auftauchen wird - bietet die Autorin eine Antwort an: jede einzelne Höhenkurve wird auf jeweils eine Holzplatte (1/2 - 1/8 cm Dicke) gezeichnet und ausgesägt, die so gewonnenen Einzelteile in der Reihenfolge der einzelnen Kurven aufeinandergeklebt.

HERTZBERG, DUPERTUIS und EMANUEL unternahmen 3-dimensionale Messungen der äußeren Körperkonturen des Menschen. Diese Arbeit unterstützte das Vorhaben der Air Force, Schutzanzüge für Piloten, die in großer Höhe fliegen, zu entwerfen.

Die Autoren benutzten 2 Luftbildkameras mit dem Bildformat 24x24 cm und eine Standardkamera (10x12 cm), wobei die Luftbildkameras für die Stereoeinzelbilder vorgesehen waren, die Standardkamera aus technischen, nicht weiter ausgeführten Gründen zwischen beide Kameras postiert, die einen Abstand von 1,52 m voneinander hatten. Ihre optischen Achsen verliefen parallel. Durch verschiedene Versuchsanordnungen haben die Autoren festgestellt, daß nur die Parallelität eine richtige Orientierung der Stereobilder im Auswertegerät erlaubte. Sind die optischen Achsen direkt auf das Objekt gerichtet - sie schneiden sich dann unter einem bestimmten Winkel, in diesem Fall 40° -, konnten die Kontrollmarken auf der Objektbühne nicht mehr erfaßt werden.

Diese Einzelheit sei erwähnt, da sie später bei eigenen Überlegungen ebenfalls eine Rolle spielen wird.

Der Proband wurde so auf der drehbaren Objektbühne orientiert, daß seine Vertikalebene genau auf der Nullebene des Aufnahmequadrats liegt. Auf dieser waren 5 Orientierungskarten angebracht, den Pro-

bandenkörper versah man mit einer dichten Punktung zum Vergleich direkte Messung - Messung auf den Stereophotos und zur besseren visuellen Orientierung in kontrastarmen Arealen der Körperoberfläche.

Die 3 Kameras werden gleichzeitig ausgelöst, die Belichtungen jeweils nach 90°-Drehung des Probanden wiederholt.
Höhenkurven werden von Front-, Rücken- und Seitenansicht gezeichnet. Eine solche Höhenkurvenzeichnung ("contourmap") ähnelt einem Drahtkorso beim Schneider.

Ein Vergleich zwischen direkter Messung und Messung auf den Photos ergab eine Abweichung von unter 1 %.
Nach Ansicht der Autoren ist diese stereophotogrammetrische Methode wesentlich genauer als die direkte manuelle.

"Hier ist nicht die Frage: 'Wie exakt ist das Meßverfahren, sondern wie exakt ist der Proband?', d.h. durch Muskelspannung oder Atmung ändert sich die Oberfläche des Körpers dauernd." Die angegebenen Abweichungen von ca. 1 % resultierten größtenteils aus diesen Imponderabilien.

In der folgenden Tabelle[+]) werden die Anwendungsmöglichkeiten des anthropometrischen und des stereophotogrammetrischen Verfahrens anschaulich dargestellt:

gewünschte Werte	Anthropometrie	Stereophotographie
1. Durchmesser	+	+
2. Oberflächenbiegungen	+	+
3. Umfang	+	+
4. Umrisse	-	+
5. Proportionen	-	+
6. Areale der Oberfläche	-	+
7. Volumen	-	+
8. Wiedergabe des ganzen K.	-	+
8. Kosten	+	-
10. Einfachheit der Methode	+	-

[+]) Übersetzung der Originaltabelle aus HERTZBERG u.a.

BURKE und BEARD übernahmen hinsichtlich der photographischen Ausrüstung, der Orientierung des Patientenkopfes und der Vermessung von Höhenkurvenbildern die Technik von THALMANN-DEGEN.
Der Beitrag stellt eine experimentelle Studie dar, die exakte Informationen über die Oberfläche des Gesichtes sammeln soll. Die Autoren betonen ausdrücklich, daß eine klinische Anwendung dieser Methode nicht in Frage kommt.
Bemerkenswert ist die Beleuchtung des Objekts: UV-Licht verstärkt die Zeichnung des Gesichts und läßt melaninreiche Stellen stärker hervortreten, was zusätzliche Orientierungspunkte ergibt.

Die Messungen ergaben eine Standardabweichung von 0,3 $\pm$ 0,04 mm für stereophotogrammetrische Messungen und 0,17 $\pm$ 0,04 mm für Mikrometermessung (!).

Bei der Zusammenstellung des stereophotogrammetrischen Aufnahmesystems liehen die Autoren, ebenfalls wie HERTZBERG u.a., die Geräte von Geodäten aus.
Dies sei ihrer Meinung nach das erstemal, daß in der medizinischen Stereophotogrammetrie ideale Bedingungen geherrscht hätten.

BERGHAGEN, BERGSTRÖM und TORLEGÅRD machten stereophotogrammetrische Vermessungen der Veränderungen der entzündlichen Gingiva.

Ihre Ausrüstung bestand aus einem ZEISS-Stereomikroskop mit schwacher Vergrößerung, verbunden mit zwei Standard-Kameras, in die nachträglich Meßkammern und Rahmenmarken eingebaut wurden.

Das Problem der "äußeren Orientierung", der Beziehung Objekt-Film, wurde so gelöst: durch eine fest mit der Kamera verbundene Bißplatte aus Abdruckmaterial kann der Kopf des Patienten in zeitlichen Abständen immer wieder exakt zur Filmebene orientiert werden.

Die Autoren setzten die Stereophotos in graphische Darstellungen um (ähnlich den Höhenkurvenbildern) und überlagerten die einzelnen Kurven. So ließen sich die Veränderungen der Gingiva eines Patienten in einem bestimmten Zeitraum auf der Graphik darstellen.

Das Meßgerät war ein WILD A7 Stereoautograph. Die mittleren Fehler wurden mit 0,2-0,3 mm in der Sagittalen (Tiefenmessung, z-Koordinate) und in der Horizontalen und Vertikalen mit 0,02-0,03 mm angegeben.

MACGREGOR, NEWTON und GILDER untersuchten Gesichtsveränderungen im Anschluß an Extraktionen.

Sie benutzten eine Spezial-Stereokamera mit einer optischen Achsendistanz von 560 mm.
Die Glasfilmplatten wurden nur mit UV-Licht belichtet (vgl. BURKE, BEARD).
Ausgewertet wurden die Bilder mit einem WILD A8 mit elektronischer Koordinatenwiedergabe.

Die Autoren orientierten den Kopf des Probanden in einem speziell für diese Studien entwickelten Kephalostaten: An einem kreuzförmigen Gestell über dem Kopf waren bewegliche Stifte angebracht, an deren Enden individuelle Abdrücke der Antihelix der Ohrmuschel und des Tragus befestigt waren. Diese Abdrücke konnten für Serienaufnahmen beliebig oft reponiert und der Probandenkopf immer wieder exakt orientiert werden. Eine "leichtere, nicht starre Halterung" würde noch diskutiert werden, berichteten die Autoren.

Sie stellten in Vergleichsmessungen lineare Fehler von 0,3 mm fest. Am kleinsten waren sie in der Bildmitte (0,07 mm), am größten in der Bildperipherie (0,7 mm).

3.2 3-dimensionale Vermessung von Photographien der Gipsmodelle des Objekts

Hinsichtlich der Technik stellt dieses indirekte Verfahren weniger Probleme.
Alle Autoren benutzten ein standardisiertes und fest installiertes Aufnahmesystem.
Dies besteht aus einem Grundbrett, auf dem eine normale Kamera und eine Objektbühne montiert sind. Die geometrischen Maße sind auf die Filmformate und die Basis der optischen Zentralstrahlen

abgestimmt. Die Objektbühne besitzt immer eine Orientierungsmarkierung (Lineal, Millimeterpapier u.a.) und ist um einen bestimmten Betrag seitlich beweglich. Der linke bzw. rechte Anschlag gibt die Position des jeweiligen Stereoteilbildes an.

Technische Einzelheiten sind bei den verschiedenen Autoren unterschiedlich.+)

NYQUIST, THAM benutzten eine solche Ausrüstung, um Volumenveränderungen von Prothesenmaterial 3-dimensional zu erfassen.
Die ZEISS-IKON-Kamera besaß keine "innere Orientierung". Anstatt Kontrollpunkten (Rahmenmarken) in der Kamera versahen die Autoren das Modell mit im Vestibulum eingepreßten erhabenen Meßmarken.

Als Meßgerät diente ein ZEISS-Stereokomparator. Der durchschnittliche Meßfehler wurde mit ca. 0,1 mm angegeben.

SAVARA setzte diese Form der Stereophotogrammetrie zum Studium der Zahn- und Gesichtsmorphologie ein. Auf die Modellbühne wurden Einzelabdrücke von zu messenden Zähnen montiert. Zur Kontraststeigerung behandelte SAVARA die Abdrücke mit Graphit.

Eine Standardorientierung für ein Modell auf der Bühne wurde durch viele Messungen eines Modells hintereinander erreicht, wobei er es jeweils manuell ungefähr auf der Bühne orientierte. Die Durchschnittswerte dieser Koordinaten gaben einen Standard an.
Der "Kelsh-Plotter" war mit einem Computer verbunden, der so programmiert wurde, daß er die gemessenen Koordinaten mit dem Standard verglich und wenn nötig korrigierte.

SAVARA stellt in seinem Artikel einige interessante Aspekte zur 3-dimensionalen Modellmessung heraus: Er zitiert GOOSE (1963), der Schwierigkeiten beim Vermessen von Zähnen beschreibt:

+) am Ende des Literaturteils folgen Tabellen, in denen die technischen Einzelheiten der Artikel zusammengefaßt sind.

"1. ein Zahn hat eine sehr komplexe Form
2. Abrasion ändert die Form eines Zahnes
3. Zahnstein verdeckt die wahre Form des Zahnes, die durch ihn u.U. auch verändert werden kann
4. schon leichte Meßfehler - abhängig von der jeweiligen Technik - können sich schwerwiegend bemerkbar machen
5. Messungen an Modellen haben den Fehler, daß sie nicht mit tatsächlichen Verhältnissen übereinstimmen."

Direkte, intraorale Aufnahmen statt Modellphotographie würde nach Ansicht des Autors folgende Vorteile bringen:

"1. Zeitersparnis durch Wegfallen von Abdrücken, Ausgießen, Trimmen und Seifen von Modellen
2. sie erleichtern das Erhalten von Werten bei Kleinkindern oder bei Kindern mit Mißbildungen, die beim Abdrucknehmen nicht kooperativ sind.
3. bei anthropologischen Studien in unterentwickelten Ländern ist es besser, Photographien der Versuchspersonen zu machen als Abdrücke."

BERKOWITZ und PRUZANSKY stellten eine Gipsmodellreihe von Gaumenspalten stereoskopisch dar und konnten so Wachstum und Entwicklung vor und nach operativen Eingriffen beobachten.

Durch Übereinanderprojektion von Höhenkurvendarstellungen konnten sie folgende Beobachtungen durchführen:

Vergleich	Ergebnis
1. Gaumenspaltenphoto-Rö.-Bild	räuml. Lage von OK zum Schädel
2. Serienphotos von Spalten	Wachstumsveränderungen

1971 erweiterte BERKOWITZ seine Studien auf kieferorthopädisch behandelte Fälle von Spaltenpatienten.
Seine 1968 vorgestellte stereophotographische Technik war seiner Ansicht nach wegen geometrischer Mängel nicht mehr ausreichend.

Das Prinzip der Apparateanordnung bleibt die gleiche wie 1968 (s. S. 30, Einleitung). Das 65 mm-Objektiv ersetzte Berkowitz

durch ein 95 mm Schneider Super-Angulon. Mit einem Bildwinkel von 100° erreicht dieses Objektiv einen maximalen Stereoeffekt.

Die Benutzung von Glasplatten statt Celluloid-Filmen steigerte die Genauigkeit durch Ausschaltung der Filmunebenheiten und Luftblasen zwischen Film und Filmträger.
Das Negativformat von 23x23 cm ermöglicht eine direkte Projektion eines Bildes ohne Vergrößerungen, so daß Ungenauigkeiten durch Bildfehler anderer optischer Systeme (Vergrößerungsapparate) ausgeschaltet werden konnten.

Ausgewertet werden die Stereoaufnahmen in einem speziell hierfür programmierten Computer, ebenfalls eine Neuerung gegenüber der Arbeit 1968.

3.3 3-dimensionale Messungen direkt an Modellen

Zum ersten Beitrag dieser Gruppe gehört ein Artikel von FRYKHOLM, WICTORIN und TORLEGÅRD.
Sie fertigten in einem WILD A7-Stereoautograph von Gipsmodellen Höhenkurvenbilder an und vermaßen sie sofort.

Es handelt sich dabei um eine gerichtsmedizinische Arbeit, ein Vergleich zwischen zwei Modellen, bei denen durch stereoskopisches Messen ihre Identität oder Nichtidentität festgestellt werden soll.

Standardabweichungen lagen bei identischen Modellen im 1/10 mm-Bereich, bei nicht identischen im mm-Bereich. Zur Überprüfung der Genauigkeit ließ man verschiedene Personen je 5000 Messungen auswerten, wobei sich beträchtliche Abweichungen ergaben. Um diesen Fehler auszuschalten, sollte eine Person, die mit der Meßtechnik vertraut ist und geschulte Fähigkeiten zum stereoskopischen Sehen hat, eingesetzt werden.
Die Standardabweichung betrug 0,5-1,2 mm.

1972 entwickelte eine Gruppe von Kieferorthopäden an der "Katholieke Universiteit" in Nijmegen unter Leitung von Prof. VAN DER

LINDEN ein Mikroskop zur Vermessung von Gipsmodellen, Röntgenbildern und Photographien. Ihm soll an dieser, sowie an anderer Stelle besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Das Mikroskop, "Optocom" genannt, mit einem Vergrößerungsfaktor 10 ist, verglichen mit Stereokomparatoren, von einfacher Bauart.
Es besitzt als Objektträger einen 2-dimensional beweglichen Schlitten, auf dem ein Gipsmodell mit einer Basisplatte und einer Präzisionshalterung in einer Standardorientierung festgehalten werden kann. Diese Orientierung wird jedoch nicht für ein Modell vorgenommen, sondern Oberkiefer- und Unterkiefer-Modell werden als Einheit behandelt.
Hierfür konstruierten die Autoren einen "Orientierungsturm". Er stellt in der Reihe der bisher in der bekannten Literatur vorgestellten Orientierungseinrichtungen die beste und ausgereifteste Konstruktion dar.
"Dieser Turm hat zwei parallele Plattformen mit korrespondierenden Präzisionszapfen. Zuerst wird das OK-Modell so auf die herausgenommene Plattform eingesetzt, daß die Okklusionsebene parallel zur Unterlage ist. Ebenso verfährt man mit dem UK-Modell.

Dann werden die beiden Modelle mit ihrer Plattform in den Turm eingesetzt und das OK-Modell wird mit der vertikal verstellbaren oberen Plattform in korrekte Lage und in Okklusion mit dem UK-Modell gebracht. Die UK-Plattform wird festgestellt."
Die Modelle werden nun mit ihrer Basisplatte in das Optocom eingelegt. Die Orientierung bleibt dabei durch übereinstimmende Zapfen für die Grundplatte in beiden Geräten erhalten.

"Um die 3. Dimension zu erfassen, wird die Plattform mit dem Modell vertikal in eine Nut am Tragebalken des Mikroskops eingeführt. Ein Taster an einem drehbaren Kopf wird auf den Schlitten gesetzt und dazu benutzt, die z-Koordinate zu registrieren.
Ein erfahrener "Operator" braucht etwa 20 Min., um ein Modellpaar zu vermessen, wobei die Messung bei vollständiger Bezahnung 387 Punkte enthält."

Zur Genauigkeit des Meßverfahrens haben die Autoren kein Zahlenmaterial geliefert. Es sei jedoch bemerkt, daß in das Computerprogramm ein Check-System eingebaut ist, das für jeden einzelnen Zahn, für Zahnbogenweiten und Längendimensionen und sagittale sowie vertikale Okklusionsrelationen Check-Werte ausdruckt. Mit diesen Werten bestimmt man die Genauigkeit der Registrierungen und eine Speicherung von unzuverlässigen Daten ist somit ausgeschlossen.
Ein zusätzliches Programm kann in einer Serienmessung von Modellen eines Patienten die Konstanz und die Veränderungen einer Anzahl von Variablen überprüfen.

Außerdem sehen die Autoren in der direkten Messung am Modell gegenüber der Vermessung am Foto des Modells den Vorteil, daß die Reproduktionsungenauigkeiten Gipsmodell - Foto eliminiert sind.

3.4 Zusammenfassung

Um die in der Literatur vorgestellten Methoden und Techniken abschließend zu beurteilen, stelle ich einige Daten in der folgenden Tabelle zusammen.

Die Spalte 1, "Gruppe", bezieht sich auf die Zugehörigkeit zu den Kapiteln des Teiles "Spezielle Literatur".

ruppe	Kameratyp	Technische Daten der photographischen Ausrüstung	Auswerte-geräte
1	normale Kamera	?	Stereomikrometer (Pulfrich)
1	Stereokamera (Fa. Wild)	Agfa-Isochrom-Platten Format: 6 1/2 x 9 1/2 cm 18/10 DIN Bl. 36; 3/4 sec.	WILD-Stereo-autograph A 5
1	2 Luftbild- 1 Standard-kamera	Format: 24 x 24 cm und 10 x 12 cm	Kelsh-Plotter
1	Kamera für tech-nische Zwecke	Teleobjektiv 200 mm	?
1	2 Standardkameras mit nachträglich eingebauten Meß-kammern + St. Mikrosk.	Kleinbildfilm	WILD-Stereo-autograph A 7
1	Officine-Galileo-Stereokamera	Glasfilmplatten	WILD-Stereo-autograph A 8
2	Serienkamera ZEISS-IKON	f = 105 mm Bl. 3,5, Film-Format: 6,5 x 9 cm	ZEISS-Stereo-komparator
2	Standard-Kamera	f = 90 mm Format: 9,5 x 12 cm Negativ auf Diafilm umkopiert	Kelsh-Plotter

Art der Auswertung	Genauigkeitsangaben	äußere Orientierung
Höhenkurven-zeichnungen	keine	keine
dto.	mittlerer Distanzfehler $\pm$ 0,3 mm mittlerer Lagefehler der markierten Punkte $\pm$ 0,2 mm (im Maßstab 1:2)	"Züricher Photostat" Stifte im äußeren Gehörgang
dto.	unter 1 %	drehbare Objektbühne mit Orientierungskarten Punktung auf der Körper-oberfläche
dto.	Stereophotogr.: Standardab-weichung 0,3$\pm$0,04 mm Mikrometer: 0,17$\pm$0,04 mm	Photostat mit Stiften im Gehörgang und am Foramen infraorbitale
dto.	mittlerer Fehler (z-Koordinate) 0,2 - 0,3 mm	fest mit der Kamera ver-bundene Bißplatte
dto.	linearer Fehler 0,3 mm 0,07 Bildzentrum - 0,7 Bildperipherie	Kephalostat: Kreuz mit Stiften mit individuelle Abdrücken der Antihelix und des Tragus
optische Able-sung der Koor-dinatenwerte	linearer Meßfehler 0,06 mm	Grundbrett mit Modell-bühne seitlich versetzba
Höhenkurven-zeichnungen	0,1 mm	dto.

Gruppe	Kameratyp	Technische Daten der photographischen Ausrüstung	Auswerte-Geräte
2	Standardkamera	f = 65 mm, Film Format: 4 x 5 cm	?
2	Großformat-Kamera	f = 95 mm Glasplatte Format: 23 x 23 cm	Galileo-Santoni Stereoplotter
3	?	?	WILD-Stereo-autograph A 7
3	keine	keine	Optocom

Art der Auswertung	Genauigkeitsangaben	äußere Orientierung
dto.	0,3 mm	dto.
	?	dto.
Höhenkurven-zeichnungen	Standardabweichung 0,5 bis 1,2 mm	polygonale Verbindung de Zahnimpressionen
elektronische Ablesung der Koordinaten-Werte, Com-puterpro-gramme	keine	"Orientierungssturm"

Die Kameraauswahl erfolgte nicht immer nach technischen Gesichtspunkten, zu hohe Kosten zwangen zu Kompromissen. Bei den Beiträgen zur Modellphotogrammetrie konnten ausnahmslos serienmäßige Kameras mit nachträglich eingebauter innerer Orientierung benutzt werden. Das Problem der Herstellung von Stereoeinzelbildern war hier durch die bewegliche Modellbühne gelöst.

Die Autoren liehen die Stereokameras für die 3-dimensionalen Messungen von Objekten meist bei Geodäten aus.

Die Qualität eines Stereobildes, darunter besonders die maßgenaue Abbildung und die Verzeichnungsfreiheit, ohne die ein Vermessen nicht möglich ist, wird vom Bildwinkel des Objektivs entscheidend mitbestimmt. Von ihm hängt es ab, welcher Raumeindruck bei einem Bild entsteht.
Geläufiger ist uns heute als charakteristische Eigenart eines Objektivs die Brennweite. Sie, zusammen mit dem Bildformat, entscheidet, ob die räumliche Abbildung mit der der Augen übereinstimmt (natürlicher Raumeindruck), oder ob sie "auseinandergezogen" oder "zusammengedrängt" erscheint.
Die naturgetreue Wiedergabe des Raumes ist nicht nur für die Vermessung, sondern auch für die Bildinterpretation (s. S. 13) wichtig.

Damit der Leser einen Eindruck von der Größe des Bildwinkels bei verschiedenen Brennweiten bekommt, habe ich die folgenden ungefähren Werte, bezogen auf eine Kleinbildkamera 24 x 36 mm, zusammengestellt:

Brennweite	Raumeindruck	Bildwinkel
Normalobj. 45-50 mm	wie beim natürl. Sehen	50°
Teleobjektiv ca. 130 mm	deutl. zusammengedrängt	20°
Weitwinkelobj. ca. 30 mm	deutl. auseinandergezogen	70°

Da die Autoren jedoch sehr unterschiedliche Bildformate benutzten, ist eine Umrechnung in Bildwinkel unerläßlich. Sie geben uns dann

Auskunft über den Raumeindruck der Bilder.

Bei zwei der Beiträge lagen die Bildwinkel bei 51° und 53°, bei weiteren zwei waren sie 80° und 100°. Der Raumeindruck hierbei liegt deutlich im Weitwinkelbereich.

Wie das Format ist auch die Art des Negativs in der vorliegenden Literatur sehr unterschiedlich. Sie reicht vom Kleinbildfilm 24 x 36 mm bis zur photographischen Platte im Format 23 x 23 cm. Die Maßhaltigkeit einer Platte ist optimal, das Auflösungsvermögen bei solch extremem Bildformat ebenfalls. Die Handhabung ist allerdings umständlich und zeitraubend.
Die Genauigkeitsangaben der einzelnen Autoren lassen an der Rechtfertigung dieser Technik zweifeln.

Bei der Beurteilung des Zahlenmaterials über die Fehler bei stereoskopischen Messungen darf man nicht vergessen, daß die Zahlen aus zu unterschiedlichen Verfahren gewonnen wurden, als daß sie alle miteinander verglichen werden könnten.
Es wäre ein Fehler, sie in eine Statistik pressen zu wollen. Vielmehr will ich versuchen, herauszufinden, wie einige typische Fehler zustande kamen. Dabei müssen natürlich die Fehler unberücksichtigt bleiben, die einer speziellen Apparatur anhafteten, von den Autoren aber nicht erkannt oder erwähnt wurden.

Betrachtet man die angegebenen Fehlerwerte, so fällt auf, daß sie beim überwiegenden Teil um 0,3 mm liegen. Erstaunlich ist, daß trotz unterschiedlichster Technik ihr mittlerer Fehler sich auf einen Wert einpendelt. Ist dies Zufall, oder stellt er eine Grenze bei diesen anthropometrischen Messungen dar?

Zwei Dinge scheinen jedoch von vornherein festzustehen:
die Wahl der photographischen Ausrüstung, wie Kamerasystem, Filmart und -format, scheint keinen entscheidenden Einfluß auf die Genauigkeit der Methoden gehabt zu haben.

Die Auswertegeräte waren ziemlich einheitlich, es herrschte der WILD-Stereoautograph verschiedener Bauarten vor. Es sind alles be-

währte Geräte der Geodäsie und stellen den wohl stärksten Teil in der technischen Ausrüstung der medizinischen Stereophotogrammetrie dar.

Das Problem der äußeren Orientierung, bei der Modellphotogrammetrie hinreichend gut gelöst, scheint bei der direkten Photogrammetrie schier unüberwindlich.
In der vorgestellten Literatur handelt es sich meistens um eine Orientierung des ganzen Kopfes zur Filmebene. War das Gesicht Gegenstand der Messungen, wurde mit Photo- oder Kephalostaten die Frankfurter Horizontale mittels Ohrstiften und einem Stift am Foramen infraorbitale senkrecht zur Filmebene orientiert.
Wird der Abstand Objekt - Filmebene ausreichend groß gewählt (3-4 m, vgl. Fernröntgentechnik und BURKE, BEARD), ist die Abbildung des Gesichtes relativ maßgerecht und verzeichnungsfrei.

Jedoch halte ich eine Orientierung nach Punkten, die direkt nicht sichtbar sind, z.B. Foramen infraorbitale, für ungenau.
Eine solche Methode kann zur Vermessung kleinerer Dimensionen, wie der Mundhöhle, keine Anwendung finden.
BERGHAGEN erreichte durch eine fest mit der Kamera verbundene Bißplatte eine Orientierung der Mundhöhle zur Filmebene, verdeckte aber gleichzeitig damit den Blick auf die Zähne.

Die Meßbilder des Objekts, gleichgültig ob sie auf direktem oder indirektem Wege hergestellt wurden, waren graphische Darstellungen in Form von Höhenkurvenzeichnungen.
Warum setzte man aber die Meßbilder in Höhenlinienbilder um? Dieser Vorgang erscheint zunächst paradox.
Die benutzten Auswertegeräte, der WILD-Stereoautograph und der Kelsh-Plotter, sind Stereokomparatoren, bei denen der Basiswagen mit einem Zeichenstift verbunden ist, der die Bewegungen der Meßmarke in Linien umsetzt. Dieses Hebelsystem löst die Gleichungen der Stereophotogrammetrie mechanisch.
Das Höhenkurvenbild stellt also nicht nur eine graphische Darstellung dar, sondern ist E r g e b n i s der stereophotogrammetrischen Auswertung.
Zur Bildinterpretation eignet sich ein Höhenkurvenbild nicht.

Heute stehen auch Auswertegeräte zur Verfügung, die direkt, nicht über dem Umweg einer graphischen Darstellung, messen und elektronisch rechnen.[+])

[+]) vgl. VAN DER LINDEN u.a.

4. Eigene Untersuchungen

1. Einleitung

Bevor die Auswahl einer eigenen Technik und Ausrüstung getroffen werden kann, muß noch einmal das Ziel klar umrissen werden.

Daß es prinzipiell möglich ist, auch kleine, komplizierte Objekte 3-dimensional darzustellen und stereophotogrammetrisch zu vermessen, steht außer Zweifel.

Hier geht es um den Versuch, eine praktikable Meßmethode zu finden, die in den routinemäßigen Arbeitsablauf eines kieferorthopädischen Praxisbetriebes integriert werden kann.

Das k o n k r e t e Z i e l ist die optische und meßtechnische Erfassung einer Dysgnathie so weitgehend, daß das Zwischenmodell als Dokumentationsunterlage überflüssig wird.
Die Meßdaten müssen dabei so ausgewertet und gespeichert werden, daß sie bei Bedarf einfach und jederzeit abgerufen werden können.

Bei der Annäherung an dieses Ziel tauchen natürlich auch Aspekte auf, die nicht in direktem Zusammenhang damit stehen. Diese sollen erwähnt, aber nicht ausschöpfend erörtert werden.

2. Grundsätzliche Probleme und Voraussetzungen

Eine neue Methode der Gebißanalyse in der Kieferorthopädie muß gegenüber der herkömmlichen entscheidende Fortschritte bieten. Denn es darf nicht übersehen werden, daß eine photographische Dokumentation der Modellanalyse in zwei Punkten unterlegen ist:

- Einerseits ist der Wegfall wenigstens der Zwischenmodelle Ziel der neuen Methode,
- andererseits bietet eine Photoserie, die zur gesamten Erfassung eines Gebisses notwendig ist (s. Abb. 3-12 im Anhang), nicht den problemlosen Gesamtüberblick. Ihn erhält der Betrachter, wenn er das Modell in der Hand in gewünschte Richtung dreht.

Ein Modell ermöglicht es sogar, von dorsal "in den Mund zu schauen".

Folgende Voraussetzungen müssen von dieser neuen Methode erfüllt werden:

- einfacher Umgang mit der Technik (für Ärzte und Hilfspersonal)
- Bewältigung einer größeren Anzahl von Vermessungen in angemessener Zeit (s. van der Linden, S. 33 ff.)
- gesicherte Meßgenauigkeit
- das Meßbild muß zur Bildinterpretation gut geeignet sein
- Möglichkeit einer elektronischen Datenverarbeitung.

3. Auswahl der Methode

Aus dem Studium der Literatur erhebt sich nun die Frage, welche Methode für mein spezielles Ziel die geeignetste ist.

Die Photo-Dokumentation einer Dysgnathie, die Zwischenmodelle überflüssig machen sollen, ist auf zwei Wegen zu realisieren (s. S. 10, 1. Abs., Punkt 2 und 3).

Vor- und Nachteile dieser beiden Methoden sind im folgenden kurz gegenübergestellt.

3.1 Messungen vom Objekt direkt

- Abdrucknahme, Ausgießen des Abdrucks, Trimmen und Ausarbeiten des Modells fallen weg
- Ungenauigkeiten des Modells fallen weg (s. S. 60 f.)
- die Mundphotographie ist natürlicher, kontrastreicher und erlaubt u.a. auch die Beurteilung des Gingivazustandes (evtl. Hinweis auf akute oder chronische Reizzustände, hervorgerufen durch die KfO-Apparate)

\+ Orientierung des Patienten ist bisher noch nicht befriedigend gelöst

\+ das Aufnahmegebiet ist schwer zugänglich.

3.2 Messungen vom Gipsmodell des Objekts

- das Modell ist für die Aufnahme einfacher zu orientieren
- die Blickrichtungen auf das Objekt können freier gewählt werden
+ der Arbeitsaufwand für die Modellherstellung bleibt erhalten
+ Fehler der Modellherstellung und der Aufnahmetechnik addieren sich
+ die kontrastarme Aufnahme erschwert die Bestimmung klar definierter Meßpunkte.

Die Grundidee zu dieser Arbeit war der Wegfall der platzraubenden Dokumentationsmodelle.
Die Wahl soll also auf die direkte Methode fallen.

Da das theoretische, technische und praktische Rüstzeug zur Stereophotogrammetrie von einem Zahnmediziner nicht mitgebracht werden kann, war an dieser Stelle die Beratung mit einem Fachmann notwendig.

Im Dezember 1971 nahm ich zum erstenmal mit Herrn Prof. Kellner, einem Geodät, der sich auf Biophotogrammetrie spezialisiert hat, Kontakt auf.

Am Anfang dieser Zusammenarbeit stand die Frage einer präzisen Aufnahmetechnik.

Bei der Auswahl der Kamera standen folgende Alternativen zur Debatte:

1. Stereokamera
2. 1 Standardkamera, seitlich versetzbar in zwei Aufnahmepositionen mit einer bestimmten Basis b_a
3. 2 Standardkameras, festmontiert, mit demselben Basisabstand b_a

ad 1)
Nachforschungen nach einer Stereokamera ergaben, daß es in der Bundesrepublik Deutschland nur einen Photohändler gibt, der gebrauchte Stereokameras und Zubehör als Gelegenheiten verkauft. Eine derartige Bezugsquelle kann für diese Arbeit aus verschiedenen Gründen nicht in Frage kommen:

Qualität und Zustand sind unbekannt, Zubehör- und Ersatzteilbeschaffung sind nicht gewährleistet u.a.

Eine zweite Möglichkeit bot die Spiegelreflexkamera "Exakta" mit Stereoprismenvorsatz.
Das Gehäuse dieses Vorsatzes aus dünnem Blech (hohe Empfindlichkeit gegen äußere Einflüsse, Stoß usw.) und die Fragwürdigkeit der optischen Qualität lassen auch diese Konstruktion für ein präzises Meßverfahren nicht zu.

Zu diesem Zeitpunkt, wo ich dies niederschreibe, wird die "Exakta" mit ihrem Zubehör in die Bundesrepublik Deutschland nicht mehr geliefert.
Nach Auskunft des Alleinimporteurs BEROFLEX in Köln kann nicht für einen gesicherten Nachschub von Zubehör aus der DDR gerechnet werden.
Dem Stereoprismenvorsatz der "Exakta" und wahrscheinlich auch ihr selbst wird dasselbe Schicksal beschieden sein, wie den oben erwähnten Stereokameras.[+])

ad 2)
Diese Aufnahmeanordnung wählte schon MANSBACH im Jahre 1922 - aus Kostengründen.
Sie stellt vom technischen Standpunkt aus gesehen keine optimale Lösung dar, da die Präzision der Konstruktion unter den Erschütterungen durch ein dauerndes Hin- und Herfahren der Kamera leidet.

ad 3)
Die technisch beste Methode ist die mit zwei festmontierten Kameras.

Sie soll für diese Arbeit gewählt werden.

[+]) Zu einem Zeitpunkt, zu dem diese Technik nicht mehr zur Debatte stand, fiel mir ein Prospekt der Firma "STITZ-HAMA" in die Hand, die einen Stereovorsatz mit Adapter für viele handelsübliche Systemkameras anbot. Dieser mit Linsen verstehene Vorsatz hätte für diese Technik vielleicht eine akzeptable Lösung dargestellt.

Kleine Änderungen der Konstruktion, wie der Einbau von "Rahmenmarken" (s. S. 17) in die Kameras können im Göttinger Institut für Biophotogrammetrie ohne großen Aufwand gemacht werden.

Aus Gründen der Maßhaltigkeit des Negativmaterials forderte Herr Prof. Kellner Glasplatten.
Als Kamera mit optimalen Eigenschaften kommt hierfür eine Hasselblad mit Plattenadapter in Betracht (Preis ca. DM 3.000,-- für eine Kamera).

Bedenkt man jedoch den Arbeitsaufwand bei der Bedienung der Kameras, beim Entwickeln der einzelnen Platten, so erscheint ein Kompromiß hier angebracht. Wir konnten uns auf eine Kleinbildkamera (Format 24 x 36 mm) einigen.
Bei Verwendung von hochwertigen Filmen auf Esterbasis (Kodak) ist die Maßhaltigkeit befriedigend. Die sogenannte "regelmäßige Schrumpfung" von 3-5 % (s. S. 17) kann in den Rechenprozeß des Computers eingebaut werden.
Die Kamera muß folgende Bedingungen erfüllen:
- optische und mechanische Spitzenqualität
- Ausbaufähigkeit des Systems
- Möglichkeit des Einbaus einer Glasplatte anstelle der Filmandruckplatte aus Blech am Deckel der Kamera (dadurch kann eine exaktere Planlage des Films erreicht werden)
- Motorantrieb für den Filmtransport.

Bei manuellem Filmtransport wird auf die Befestigung der Kameras ein beträchtlicher Zug ausgeübt. Dadurch können sich wieder unkontrollierbare Ungenauigkeiten einschleichen.

Nach diesen Kriterien sollte nun eine geeignete Kamera gefunden werden.
Aus dem Angebot der modernen Kleinbildkameras stach eine hervor. Nachdem auch Herr Prof. Kellner die Unterlagen der Kameras studiert hatte, fiel die Wahl auf eine ZEISS-IKON Contarex SE mit Objektiv SONNAR 2/85 mm und einer Mattscheibe mit Koordinaten.

Außer der optischen und mechanischen Qualität ist die Ausbau-

fähigkeit des Systems außerordentlich vielfältig.

Das Objektiv muß mit einer Vorsatzlinse ergänzt werden, um im 0,50 m-Bereich Scharfeinstellung zu erreichen. Das Objektiv hat einen Bildwinkel von 28° (vgl. S. 41). Er verhindert im Nahbereich eine Verzerrung des Objekts (Normalobjektive mit einer Brennweite von 45-50 mm haben in diesem Nahbereich einen Weitwinkeleffekt).

Die Kamera erfüllt alle oben aufgeführten Anforderungen. Außerdem verfügt sie über eine Beschriftungseinrichtung. Sie macht es möglich, Daten des Patienten unmittelbar mit der Belichtung auf das Negativ oder Dia zu übertragen.
Die Ausbaufähigkeit des Systems ist so groß, daß im Falle einer Anschaffung und des Scheiterns der Stereophotographie auf kieferorthopädischem Gebiet die Kameras für andere Zwecke zu verwenden sind.
Im Zubehörprogramm sind u.a. enthalten:
Geräte für Lupen- und Mikrophotographie, Anschlüsse an Operationsmikroskope und physikalisch-technische Geräte.
Diese Vielfältigkeit, das soll hier ausdrücklich betont werden, kann nicht eine kostspielige Anlage (ca. 4.600,-- DM)[+]) rechtfertigen, wenn nicht sichergestellt ist, daß sie einen konkreten Fortschritt bietet.

[+]) Diese Angaben beruhen auf einem Kostenvoranschlag der Firma CARL ZEISS vom 16.3.1972. Es handelt sich dabei um reine Kamerakosten; ihr Umbau und der Bau der Aufnahmeanordnung, die das Göttinger Institut übernehmen würde, sind darin nicht enthalten.

4. Die Anordnung des Aufnahmesystems

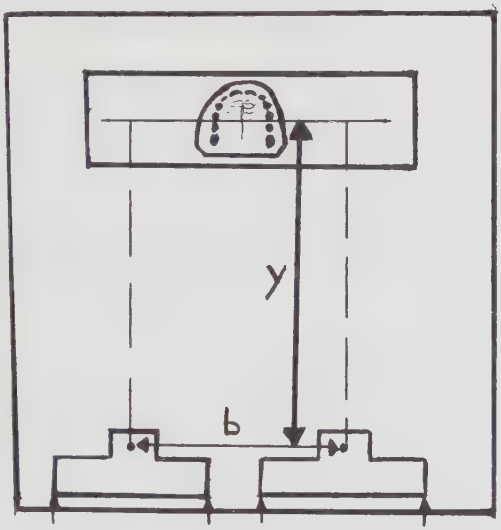


Abb. 5

Abb. 6

Die Aufnahmeentfernung y (Projektionszentrum - Objekt) muß so gewählt werden, daß das Modell in allen notwendigen Positionen vollständig erfaßt wird, die ungenützte Fläche des Negativs jedoch möglichst klein gehalten wird.
y ist abhängig vom Bildwinkel des Objektivs (in diesem Fall 28^{O}) und von der Basis b, der Entfernung zwischen beiden Projektionszentren. Diese muß wegen der Größe der Kameras größer als der natürliche Augenabstand (65 mm) sein.
Die Gehäusebreite der CONTAREX SE beträgt ca. 180 mm. Zwischen beiden Kameras muß aus bedienungstechnischen Gründen ein Abstand von ca. 20 mm gehalten werden. b beträgt dann 200 mm.

Das Modell muß in den Raum zwischen den beiden inneren nach ihrem Schnittpunkt divergierenden Schenkel der Bildwinkel plaziert sein (s. Abb. 6, schraffierte Fläche). Nur in diesem Raum findet eine 3-dimensionale Abbildung statt. Wo das Objekt in diesem Raum fixiert werden muß, hängt von der Größe der Zahnbögen ab. Sie ist, abhängig vom Alter und Körperbau des Patienten, sehr unterschiedlich.

Aus hundert willkürlich herausgegriffenen Modellen vermaß ich Zahnbogenlänge und -breite.
Die Messungen ergaben, daß weit über 90 % die Breite 65 mm und die Länge 60 mm nicht überschritten. Die Meßpunkte lagen jeweils buccal bzw. distal des letzten Zahnes.
Bei der gezielten Suche nach ausgefallenen kleinen und großen Modellen fand ich keines, dessen Zahnbogenbreite unter 40 mm und über 70 mm und dessen Zahnbogenlänge unter 30 mm bzw. über 75 mm betrug.

Um den peripherstен Zahnbogenbereich nicht ganz an den Bildrand rücken zu lassen, sollte der von den Stereobildern zu erfassende Bildausschnitt eine Höhe von ca. 80 mm haben.
Dieser Bildausschnitt entspricht einer Aufnahmeentfernung von 560 mm.

An den Maßen des Aufnahmesystems läßt sich der T i e f e n f e h l e r , d.h. der Fehler bei Messungen auf der z-Koordinate, nach

folgender Formel errechnen:

$$\Delta y = \frac{y^2}{b \cdot c} \cdot dp_x$$

y = Aufnahmeentfernung
(Projektionszentrum - Objekt)[+1])

b = Basis
(Entfernung der Projektionszentren)[+2])

c = Kammerkonstante
(Projektionszentrum - Filmebene)[+3])

dp_x = Parallaxenmeßgenauigkeit

Hierzu sei bemerkt, daß die Kammerkonstante c nur bei einer Entfernungseinstellung auf∞ gleich der Brennweite ist. Da die Differenz nicht groß ist, soll sie bei der Rechnung unberücksichtigt bleiben.

Die Parallaxenmeßgenauigkeit (oder der Parallaxenfehler) dp_x bezieht sich auf das Auswertegerät. Sie beträgt bei dem "Römat", einem Göttinger Gerät zur Vermessung von Stereoröntgenbildern, 10 µ .
Bei Präzisionsauswertegeräten liegt nach Angaben von Prof. Kellner dp_x bei 3 - 5 µ , bei der Fehlerrechnung sollten 15 µ eingesetzt werden.

Der Tiefenfehler beträgt also:

$$\Delta y = \frac{560\ mm^2}{200\ mm \cdot 85\ mm} \cdot 0{,}015\ mm$$

$$\Delta y = 0{,}27\ mm$$

[+1]) vgl. S. 14/15
[+2]) vgl. S. 11
[+3]) vgl. S. 14/15

Bei ziemlich genau diesem Wert lag auch die Mehrzahl der in der Literatur angegebenen Meßfehler (s. Tabelle S. 38-40 und Text S. 41).

Daß sich bei unterschiedlichster Technik der mittlere Meßfehler auf einen Wert einpendelt, scheint also kein Zufall zu sein, sondern eher für stereoskopische Messungen in diesen Größenordnungen charakteristisch.

Aus den Abmessungen des Aufnahmesystems können ebenfalls der Vergrößerungsmaßstab und der Lagefehler errechnet werden:

$$\text{Vergrößerungsmaßstab} = \frac{y}{c} = 7{,}4 : 1$$

$$\text{Lagefehler} = dp_x \cdot \text{Vergrößerung} = 0{,}1 \text{ mm}$$

In Abb. 5 sind die beiden optischen Achsen parallel eingezeichnet. HERTZBERG, DUPERTUIS und EMANUEL wählten auch diese Anordnung, nachdem ihr Versuch, die Achsen in einem Winkel von 40° zueinander auf das Objekt zu richten, meßtechnisch scheiterte (s. S. 27).

Die optischen Achsen müssen jedoch nur parallel laufen, wenn man den stereophotogrammetrischen Normalfall konstruieren will.
Bei der Anfertigung von Höhenlinienkurven (s. Lit.-Teil) müssen sie parallel laufen.

Bei einer Punktmessung, wie sie hier speziell bei der Vermessung mit dem "Römat" vorliegt, brauchen sie es nicht. Der beliebig wählbare Winkel zwischen den optischen Achsen würde in den elektronischen Rechenprozeß eingebaut werden.
Ein solcher Fall tritt z.B. ein, wenn aufgrund der Größe oder Form des Objekts die Aufnahmeentfernung zu groß gewählt werden müßte, da sonst das Objekt von beiden Teilbildern nicht vollständig erfaßt würde.

5. Die Orientierung des Patienten

Gemeinsam mit der Konstruktion des Kameragrundbrettes planten wir

eine Kopfhalterung und einen Spiegel zur Darstellung eines Zahnbogens.
Beides sollte mit dem Grundbrett durch ein Gestänge fest verbunden sein.

Abb. 7

Dies stellt - auf den ersten Blick - eine feste Orientierung des Gebisses zur Kameraanordnung (oder besser: zur Filmebene) dar.

Dabei sind jedoch folgende Faktoren außer Acht gelassen worden:

1. die Lage der Zähne zur Filmebene ist keineswegs festgelegt. Durch die unterschiedlichen Größen der Köpfe befindet sich das Gebiß bei jedem Patienten in anderer räumlicher Lage zur Filmebene.
   Eine Höhenverstellbarkeit der Kopfstütze samt Kamerasystem zum Ausgleich der Körpergröße ist dabei schon berücksichtigt.
   Das Gebiß müßte also auch horizontal einstellbar sein.
   Für beide Einstellungen, vertikal wie horizontal, benötigt man Bezugspunkte (vgl. S. 27). Diese von MANSBACH und THALMANN-

DEGEN benutzten Punkte stellen ebensowenig eine genaue Orientierung dar, wie Stifte (s. S. 27) oder individuelle Abdrücke (s. S. 30) im äußeren Gehörgang, in der Ohrmuschel oder am auf die Haut projizierten Foramen infraorbitale.

Alle angegebenen Punkte sind nicht exakt lokalisierbar, sie können bestenfalls als Anhaltspunkte dienen. Sie stellen auch keine Konstanten dar, jeder Punkt erfährt während der Entwicklung eines Kindes oder Jugendlichen im Wachstumsalter Veränderungen.
Und selbst wenn beim Erwachsenen der angenommene Punkt konstant bleibt, so ist er in praxi nicht exakt reponierbar, da es sich bei ihm um eine Übertragung eines Knochenpunktes (Tragion, Suborbitale, Mentale usw.) auf die äußere Haut handelt.[+])

2. bei Zahnbogenaufnahmen ist ein Mundspiegel in Form einer verchromten, dem Cavum oris angepaßten Metallplatte gebräuchlich.

Sollen diese Spiegelaufnahmen als Meßbilder dienen, muß der Spiegel als Glied eines leistungsfähigen optischen Systems höchsten Anforderungen genügen. Dies gilt für seine Plazierung im Mund sowie seine Materialbeschaffenheit.

Der Spiegel muß im Mund einen Winkel von 45° zur optischen Achse bilden. Sie wird dann um 90° abgelenkt und es entsteht eine verzerrungsfreie Abbildung, wenn:

1. die Oberfläche des Spiegelglases verspiegelt ist
   (bei den gebräuchlichen Spiegeln ist die Unterseite verspiegelt, der Stahlengang muß erst das Glas durchdringen und wird dabei gebrochen, ehe er abgelenkt wird.)
2. das Spiegelglas so dick ist, daß es volumenkonstant ist, d.h. mindestens eine Dicke von 5 mm hat.
   (es muß beträchtliche Temperaturunterschiede unverändert

[+]) vgl. THALMANN-DEGEN, "Die Stereophotogrammetrie, ein diagnostisches Hilfsmittel in der Kieferorthopädie", Inaug. Diss. Zürich 1944, Seite 14.

überstehen. Bei der Sterilisation wird es auf 120° erhitzt.

Außerdem stellen sich hier die Fragen, wie die Verspiegelung auf diese Temperatur reagiert, und wie sie vor einem Beschlagen im Mund geschützt werden kann (Spray oder eingebaute Heizspirale?, Kosten?).
Zudem kommt das Problem, wie ein 5 mm dicker Spiegel in einer 45°-Stellung im Mund Platz hat.

Die eigenen Untersuchungen zeigen nun spätestens, daß eine Orientierung des Pa+ientenkopfes allein mit mechanischen Halterungen nicht zu erreichen ist.

Die äußere Orientierung muß also auf andere Weise gelöst werden.

In der Luftbildstereophotogrammetrie besteht verständlicherweise keine feste Verbindung zwischen Kamera und Objekt. Hier wird die Orientierung, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, mit Hilfe von sogenannten P A S S P U N K T E N verbessert.

"Unter einem Paßpunkt versteht man einen Geländepunkt (allgemein: einen Objektpunkt) im gemeinsamen Gesichtsfeld eines stereoskopischen Bildpaares, dessen Raumkoordinaten schon vor der photogrammetrischen Auswertung des Stereomodells bekannt sind. Lage und Höhe des Paßpunktes müssen also durch andere geodätische Meßmethoden ... bestimmt werden. Vergleicht man die bekannten Koordinaten eines Paßpunktes mit seinen photogrammetrisch ermittelten, so ergeben sich Differenzen, die eine Kontrolle oder Verbesserung der Orientierungselemente der photogrammetrischen Auswertung ermöglichen."[+])

In einer für die kieferorthopädische Abteilung der Bonner Zahnklinik entwickelten Stereo-Fernröntgentechnik ist ein solches Paßpunktsystem als äußere Orientierung für Schädel bereits erprobt worden.

[+]) s. Finsterwalder/Hofmann, "Photogrammetrie", S. 146

Der Schädel wird dabei in einen röntgendurchlässigen Rahmen aus Kunststoff gelegt, in den in allen drei Dimensionen Bleikügelchen eingearbeitet sind. Die Lage der Kügelchen im Raum, die vorher trigonometrisch festgehalten wurde, dient zur Kontrolle und Korrektur des stereophotogrammetrischen Meßvorgangs.

Die Idee liegt nahe, dieses Paßpunktsystem in abgewandelter Art für die Mundphotographie zu benutzen, z.B. in Form eines durchsichtigen Wangenabhalters mit eingebauten Bleikügelchen nach dem Muster des erwähnten Rahmens.

Jedoch führt auch diese Idee aus verschiedenen Gründen in eine Sackgasse:

- die Röntgenaufnahme bildet nur die für Röntgenstrahlen durchlässigen Bleikügelchen ab, und zwar in allen Ebenen des Raumes gleichermaßen.
  Bei der Photographie wird sich der Plastikkörper störend auf das Bild auswirken und unter Umständen die Bleikugeln durch Reflektion überdecken.
  Aber nicht nur das: bei Mundaufnahmen in Okklusion (s. Abb. 3-5 im Anhang) wird auf dem Meßbild kaum ein Bleikügelchen zu sehen sein, da die im Vordergrund liegenden Zahnreihen die Bleikügelchen im Hintergrund überdecken.
  Auf dieses Problem soll in den "Schlußfolgerungen" noch einmal eingegangen werden.

- der Paßpunktrahmen für die Schädelaufnahmen stellt eine konstante, willkürlich gewählte äußere Umgebung dar.
  Ein Wangenabhalter muß sich den wechselnden anatomischen Gegebenheiten anpassen, der Weite der Zahnbögen, der Dehnbarkeit der Wangen und zudem ist seine Größe noch abhängig von der Bereitwilligkeit des kindlichen Patienten, sich die Wangen weiter als gewöhnlich abhalten zu lassen. Der Wangenabhalter müßte also in verschiedenen Größen vorliegen, bei denen die einzelnen Paßpunkte wieder individuell zu bestimmen wären.

Die vergebliche Suche nach einer genauen äußeren Orientierung des Objekts ist hier an einem Punkt angelangt, an dem man zu dem

Schluß kommen muß, daß die 3-dimensionale Mundphotographie nicht für die praktische Anwendung geeignet ist.

6. 3-dimensionale Vermessungen von Photographien des Gipsmodells

Im Folgenden soll nun untersucht werden, ob eine Vermessung von Stereobildern der Gipsmodelle eine Lösung in dem Sinne bringt, daß die Dokumentation und die Meßtechnik in der Praxis verbessert wird.

Die Anordnung des Kamerasystems (s. s. 51) bietet hierfür sehr gute Voraussetzungen.
Die Modelle können auf einer aus der Literatur schon bekannten Modellbühne orientiert werden.

Die Photographien des Modells sind prinzipiell die gleichen wie bei der Mundphotographie.
Da das Modell auf seiner Bühne jedoch - im Gegensatz zum Mund des Patienten - beliebig plaziert werden kann, ergeben sich günstigere, meßtechnisch und optisch einfacher zu erfassende Perspektiven (s. Abb. 6-10 im Anhang).

So können Ober- und Unterkiefer in direkter Aufsicht und einzeln, die Modelle in Seitenzahnokklusion genau senkrecht zur Sagittalebene (des Patienten!) aufgenommen werden.
Die Blickrichtungen auf die Zahnreihen sind frei wählbar, sie sind nicht, wie bei der Mundphotographie, durch die die Zahnreihen umgebenden Weichteile behindert.

Die Aufnahme eines Gipsmodells ist jedoch kontrastärmer. Bei schattenarmer Beleuchtung sind feine Einzelheiten, wie Fissuren oder Höckerspitzen, nicht mehr klar zu erkennen, wodurch die Meßpunkte nicht mehr eindeutig definiert sind.
Eine Kontrastbelebung und eine größere Detailschärfe erfährt das Farbbild, wenn man das Modell zusätzlich mit farbigem Licht beleuchtet[+]).

[+]) vgl. "Praxis der Zahnheilkunde", Beitrag A 18, S. 10 f.

Ist die äußere Orientierung bei der Modellphotographie im Vergleich zur Mundphotographie einfach, so erhebt sich doch die Frage, welche Fehler und Ungenauigkeiten das Modell in sich birgt.

Abdruck und Modell

Der Abdruck, erster Schritt bei der Modellherstellung, entscheidet über die Genauigkeit eines Gipsmodells. In der Kieferorthopädie allgemein übliche Abdruckmaterialien sind die irreversibelelastischen (IMPREX, PALGAT, ALGETRAL, ZELGAN u.v.a.).
Ihre Wiedergabegenauigkeit ist groß, bei leichter Druckanwendung dringen sie in Vertiefungen unter 1/10 mm ein (Eichner).
Entscheidend für die Modellgenauigkeit ist jedoch

1. die Zeitspanne zwischen Abdrucknahme und Ausgießen des Abdrucks und
2. die Aufbewahrungsart des Abdrucks in dieser Zeitspanne.

Nach Eichner ist 30 min. nach der Abdrucknahme die Abdruckmasse bei Luftlagerung praktisch volumenkonstant.
In der Praxis werden hierbei die meisten Fehler gemacht, z.B. Liegenlassen der Abdrücke über Nacht in Wasser; Folge ist eine Oberflächenveränderung u.a.

Der Dentalgips erfährt beim Erhärten eine Expansion von 0,2 bis 0,3 %. Sie kann durch Zusätze nicht wesentlich beeinflußt werden.

"Der Gips zeichnet sich ja gerade durch seine Formkonstanz aus". Beim Austrocknen findet noch einmal eine geringe Schrumpfung von 0,07 % statt.[+])

Bei fachgerechter Verarbeitung gibt das Gipsmodell also Gebißverhältnisse sehr genau wieder.
Beim photographischen Filmmaterial lagen die Angaben über seine Schrumpfung bei 3-5 % (s. S. 18). Diese Schrumpfung, sofern es sich um eine regelmäßige handelt, wird beim automatischen Auswerten der Photos berücksichtigt. Anhand der eingebauten Rahmen-

---

[+]) vgl. Eichner, "Leitfaden zahnärztl. Werkstoffe" S. 22

marken (s. S. 17), die sich auf den Film projizieren, kann diese Schrumpfung kontrolliert werden. Nach Angaben von Herrn Prof. Kellner bieten Kleinbildfilme mit Ester-Basis als Schichtträger ideale Voraussetzungen hinsichtlich der Maßhaltigkeit.

So maßgenau das einzelne Gipsmodell eines Ober- oder Unterkiefers nun ist, die Orientierung beider Modelle zueinander birgt einen schwer kontrollierbaren Fehler in sich.
Um Ober- und Unterkiefer in habitueller Okklusion zu fixieren, läßt man den Patienten fest auf ein erwärmtes hufeisenförmiges Stück Wachs oder besser Alu-Wachs beißen. Mit diesem Okklusionsbiß können OK- und UK-Modell zueinander orientiert und getrimmt werden.
Verbiegt der im Mund nicht ganz erstarrte Okklusionsbiß beim Herausnehmen unbemerkt, wird er erfahrungsgemäß zwischen beiden Modellen wieder "zurechtgebogen". Die Dorsalseite der Modelle wird nach diesem Biß getrimmt, so daß sie nach seiner Entfernung fest in der durch ihn bestimmten Okklusion stehen bleiben. Auch kleine Fehler bei diesem Trimmvorgang verfälschen somit die Okklusionsverhältnisse und bleiben später oft unbemerkt.
Diese möglichen Fehlerquellen stellen bei der Modellphotographie einen Faktor dar, der eine noch so genaue stereophotogrammetrische Messung wertlos machen kann.

Hält man Fehler bei der Modellherstellung durch äußerst sorgfältiges Arbeiten klein, so hat die 3-dimensionale Vermessung von Photographien der Modelle gegenüber der direkten Methode (Mundaufnahmen) trotzdem folgende Nachteile:

Summation der Fehler Modell + Photographie

Summation der Arbeit Modell + Photographie

7. Zur Frage der elektronischen Datenverarbeitung und -speicherung

Eine stereophotogrammetrische Auswertung von Photographien ist am Institut für Biophotogrammetrie in Göttingen mit modernsten Appa-

raten möglich. Das hier in der Entwicklung begriffene System zur Vermessung von Stereo-Fernröntgenbildern speziell für die kieferorthopädische Abteilung der Bonner Zahnklinik könnte dafür benutzt werden (besonders der schon oben erwähnte "Römat"). EDV-Programme zur Auswertung der Meßdaten können von dem dortigen Spezialisten, Herrn Prof. Kellner, aufgestellt werden.
Seine enge Zusammenarbeit mit der Bonner KfO-Abteilung würde eine optimale Lösung der elektronischen Dokumentation gewährleisten.

8. Zur Frage der Rekonstruktion von Modellen aus Stereophotographien

THALMANN-DEGEN schlug eine mit einem Höhenkurvenzeichner verbundene Fräse vor, die das Objekt aus einem Gipsblock modelliert.

Mit dieser Technik mag zwar eine Plastik des Gesichts naturgetreu herzustellen sein, ein so kleines und komplexes Gebilde wie ein kieferorthopädisches Gipsmodell maßgerecht zu rekonstruieren, ist unmöglich.

Jedoch können in neuerer Zeit mit einem modernen Auswertegerät mit "Wandermarke" und einem Präzisionsgipsfräsgerät auch von kleinen Objekten Modelle rekonstruiert werden.
Der Kostenaufwand ist dabei noch so hoch, daß diese Methode für die Praxis nicht geeignet ist. Sie könnte allenfalls bei einem gerichtlichen Verfahren gegen den behandelnden Arzt in Frage kommen. Eine Modellrekonstruktion könnte in diesem Fall einmal notwendig sein.

5. Schlußfolgerungen

Bei der visuellen Beurteilung einer Dysgnathie ersetzt eine Serie von Stereophotos nicht das Gipsmodell (s. S. 45).
Die meßtechnische Erfassung einer Dysgnathie erfolgt anhand von Stereophotos des Modells, das nach den Aufnahmen aus Platzmangel weggeworfen werden muß.
In dieser Methode der Modell-Stereophotogrammetrie liegt dadurch etwas Paradoxes.

Das Problem der Messung und ihrer Auswertung kann, was die Genauigkeit und die Datenverarbeitung und -speicherung betrifft, durch Stereophotogrammetrie gut gelöst werden.
Man darf jedoch die meßtechnische Erfassung einer Dysgnathie nicht isoliert behandeln. Die Vermessung ist ein Glied in der Kette der Arbeit eines Kieferorthopäden. Hierzu gehört ebenso die visuelle Beurteilung. Sie kann aber anhand von Photographien nur unvollkommen sein, da die komplexe Form der Zähne und der Zahnbögen nie auf einem Bild ganz erfaßt wird, sondern je nach Blick- und Aufnahmerichtung nur Teile des Zahnes sichtbar sind. Besonders deutlich wird dies bei einer Aufnahme der Zahnreihen in Okklusion: die in diagnostischer Hinsicht wichtigen Höckerspitzen sind verdeckt (s. Abb. 3 im Anhang).
In dieser Tatsache liegt der entscheidende Unterschied zwischen Photographie und Röntgenaufnahme. Die Transparenz des Röntgenbildes läßt die Abbildung sich verdeckender Teile zu. Diese Eigenschaft gibt dem in der Entwicklung begriffenen Stereoröntgenbild wohl eine bessere Chance, als sie der Stereophotogrammetrie - wenigstens im Mundbereich - beschieden sein wird, zumal es zur Röntgenaufnahme keine Alternative gibt.

Die Betrachtung der Stereobilder (Dias) bringt folgende Probleme mit sich:

- die einfachste Methode ist ein Stereobetrachtungsgerät ("Viewmaster"). Nachteil ist, daß nur eine Person das Bild vor Augen hat.
- die Projektion der Dias ist durch das Polarisations- und das

Wechselblendenverfahren möglich (s. S. 20). Praktisch anwendbar ist nur das Polarisationsverfahren. Der Nachteil ist die Umständlichkeit: genaueste Ausrichtung der Projektoren ist nötig, der Standpunkt des Betrachters erlaubt keine großen Abweichungen zur Projektionsebene. Notwendig zur Diabetrachtung ist eine Polarisationsbrille (Brillenträger müssen auf ihre Brille einen Polarisationsvorsatz montieren).

- bei beiden oben erwähnten Betrachtungssystemen ist eine gleichzeitige Messung nicht möglich, was bei der herkömmlichen Modellanalyse durch die Benutzung der Meßplatte und des Zirkels einfach zu bewerkstelligen ist.
- zur visuellen Beurteilung einer Dysgnathie müssen mindestens 5 Stereobildpaare betrachtet, bzw. projiziert werden. Das bedeutet das Einlegen von min. 10 Diapositiven in einen Betrachtungsapparat.

Will man wie bisher betrachten und gleichzeitig messen, müssen die Bilder direkt in das Auswertegerät gelegt werden.
Bei der routinemäßigen Betrachtung des Gebisses stellt dies einen Mehraufwand an Arbeit und Zeit dar. Der Vorteil liegt in der Erleichterung der Serienmessung zu wissenschaftlichen Zwecken, besonders unter dem Aspekt der elektronischen Datenverarbeitung und -speicherung.

Der folgerichtige Schluß aus diesen Erwägungen ist, nach meiner Überzeugung, daß das Stereophoto keine gleichwertige Alternative zum Gipsmodell darstellt.

Das Gipsmodell bleibt das beste Dokumentationsmittel für eine Dysgnathie.

Unbestritten bleibt natürlich, daß eine elektronische Messung und eine ständig abrufbare Befundsammlung große Vorteile bietet und durch die ständig wachsende Unübersichtlichkeit der Patientenkarteien nicht mehr zu umgehen ist.

Die 3-dimensionale Vermessung des Gipsmodells und die gleichzei-

tige automatische Datenspeicherung, wie sie von Prof. VAN DER LINDEN schon versuchsweise verwirklicht wurde, ist voraussichtlich der Weg, der auf dem Gebiet der Modellanalyse in der Kieferorthopädie aus einer Sackgasse herausführt.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit soll kurz in die Möglichkeiten und Probleme der Stereophotogrammetrie einführen, ihre Entwicklung in der Zahnmedizin aufzeigen und untersuchen, ob sie als Hilfsmittel in der Kieferorthopädie einen hoffnungsvollen Fortschritt darstellt.

Schon seit 50 Jahren beschäftigt dieses Problem die Mediziner. Der erste auf diesem Gebiet, der Kieferorthopäde MANSBACH, beendete seine Arbeit "Die Stereophotographie in der Orthodontie" mit dem Satz: "Möge es auch meiner Arbeit vergönnt sein, mit der Einführung des Stereoskops in die Orthodontie der Wissenschaft und damit dem Menschen gedient zu haben."

Seitdem haben nicht wenige seinen Gedanken aufgegriffen und ihre Untersuchungen darüber veröffentlicht.
Keiner der Autoren kam über das Versuchsstadium hinaus. Die Arbeiten stehen alle mehr oder weniger isoliert im Raum, ihnen fehlt das bißchen an Überzeugungskraft, die zur Fortführung bis zur Praxisreife anregt.

Die Entwicklung der Stereophotogrammetrie in der Zahnmedizin seit 1922, ist sie überhaupt eine in dem Sinne, daß irgendwann ein erstrebenswertes Ziel erreicht wird?
Oder verirrt man sich seit 50 Jahren in Sackgassen, aus denen man immer wieder herausfindet, aber nur um wieder in neue zu geraten?

Meine Arbeit stellt noch einmal einen Versuch dar, einen Weg zu finden, der bis hin zur Praktikabilität führt.
Bestehende Probleme, wie die Orientierung des Patienten bei Mundaufnahmen oder die Verringerung des technischen Aufwandes, blieben ungelöst. Deshalb schien es mir notwendig, die Frage zu stellen, ob das Stereophoto überhaupt das geeignete Dokumentationsmittel in der Kieferorthopädie darstellt.
Diese Frage habe ich zu Gunsten des Gipsmodells verneint.

Mein Vorschlag lautet deshalb, die Diskussion um die 3-dimensionale Photographie in der Kieferorthopädie hiermit zu beenden und nach einem anderen Weg zu suchen, etwa wie ihn VAN DER LINDEN schon vorgezeichnet hat.

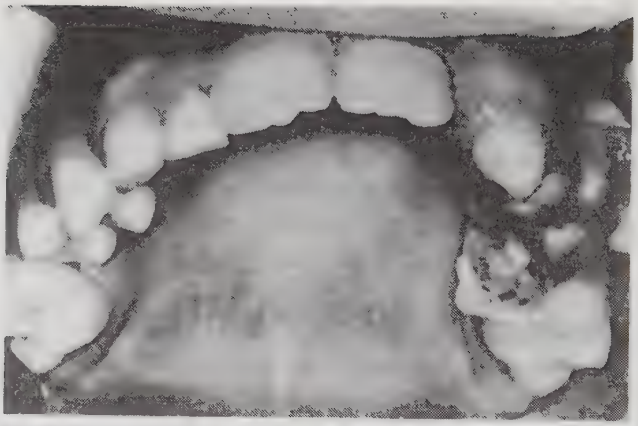


Abb. 1

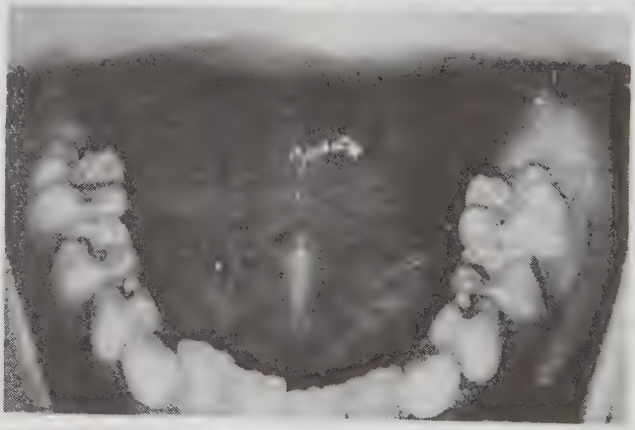


Abb. 2

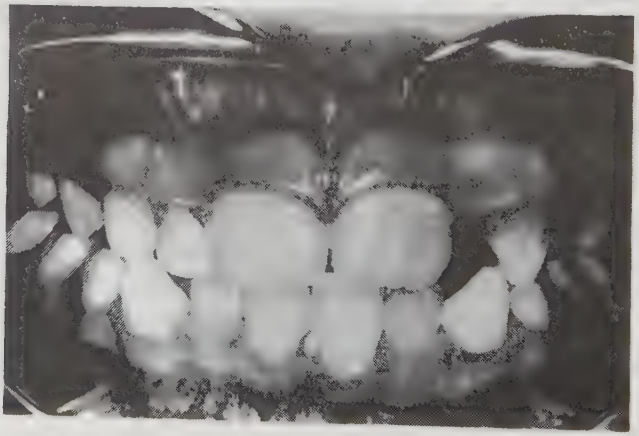


Abb. 3

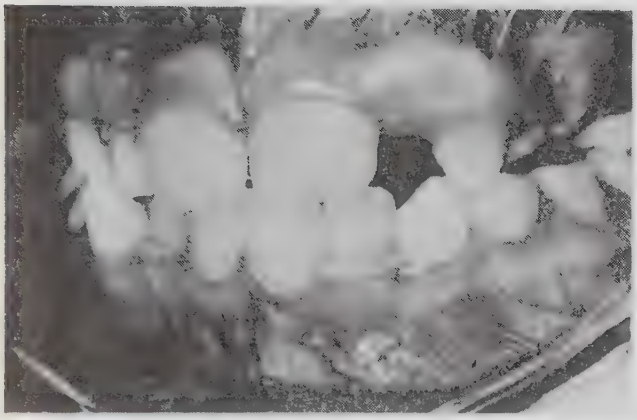


Abb. 4

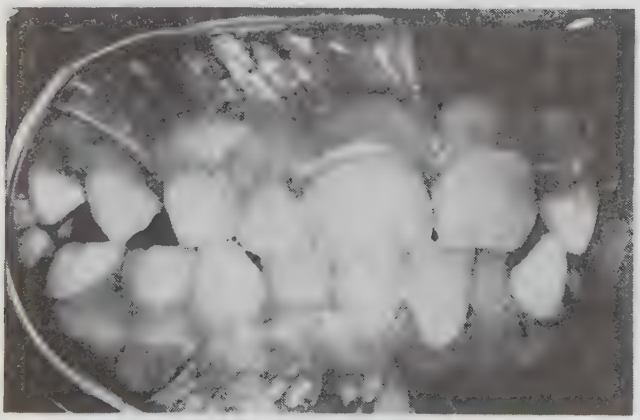


Abb. 5

Abb. 6

Abb. 7

Abb. 8

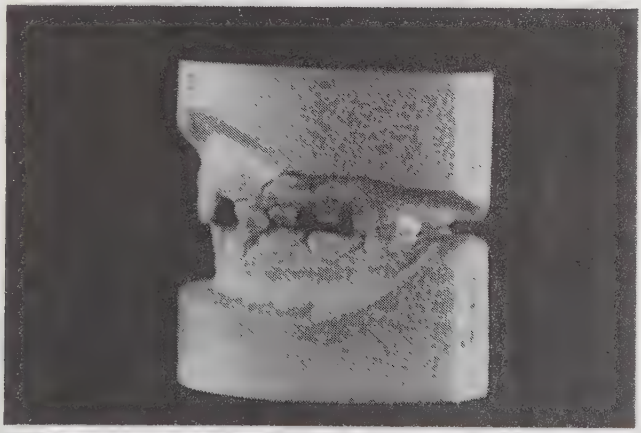


Abb. 9

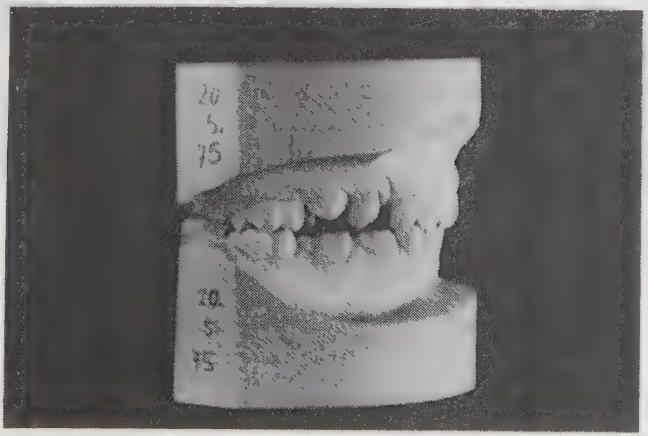


Abb. 10

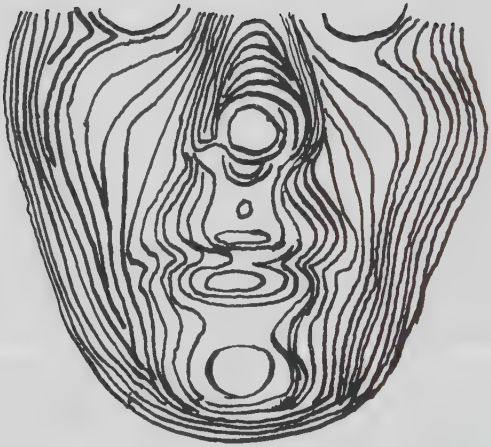


Abb. 11

Abb. 12

8. Literaturverzeichnis

Altuna, G., M. Freisfeld, G. P. F. Schmuth:
The application of the computer to the calculation of individual errors in roentgen-cephalometrics.
Transact. Europ. Orthod. Soc. 519, 1970

Berghagen, N., J. Bergström, K. Torlegård:
Chances in volume of the gingival tissue. A stereophotogrammetric study.
Acta odont. scand. 26, 369-93, 1968

Berkowitz, S., S. Pruzansky:
Stereophotogrammetry of serial casts of cleft palate.
Angle Orthodont. 38, 136-149, 1968

Berkowitz, S.:
Stereophotogrammetric analysis of casts of normal and abnormal palates.
Amer. J. Orthodont. 60, 1-18, 1971

Biggerstaff, R. H.:
A photogrammetric mandible holder.
J. dent. Res. 50, 1684, 1971

Burke, P. H., L. F. H. Beard:
Stereophotogrammetry of the face.
Amer. J. Orthodont. 53, 781-796, 1967

Clar, E., G. P. F. Schmuth:
Ein Beitrag zur elektronischen Datenverarbeitung in der Kieferorthopädie.
Fortschr. Kieferorthop. 1, 93, 1971

Eichner, K.:
Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihre Verarbeitung.
Berlinische Verlagsanstalt GmbH., Berlin 1960

Fagerholm, P. O.:
Close-up photogrammetry with single cameras.
Photogrammetric Eng. 23, 665-668, 1956

Finsterwalder, R., W. Hofmann:
Photogrammetrie
Verlag W. de Gruyter, Berlin 1968

Freytag, H.:
Knaurs Foto- und Filmbuch.
Droemersche Verlagsanstalt Th. Knaur Nachf.,
München-Zürich 1955

Frykholm, K. O., L. Wictorin, K. Torlegård:
Analysis of teeth-marks with stereometric reproduction.
Svensk Tandlak 63, 205-17, 1970

Hallert, K. B. P.:
Photogrammetry in medicine.
Photogrammetric Eng. 20, 81-88, 1965

Haunfelder, D., L. Hupfauf, W. Ketterl, G. Schmuth:
Praxis der Zahnheilkunde
Verlag Urban und Schwarzenberg, München-Berlin-Wien 1969,
1973

Hertzberg, H. T. E., C. W. Dupertuis, I. Emanuel:
Stereophotogrammetry as an anthropometric tool.
Photogrammetric Eng. 23, 942-947, 1957

Houston, W. J.:
Automated measurements of photographs and radiographs.
Trans. Br. Soc. Study Orthod. 5, 90, 1969-70

Korkhaus, G.:
Die Kieferorthopädie im Wandel der Zeit.
Die Quintessenz, Buch- und Zeitschriftenverlag
Dr. h.c. W. Haase, Berlin 4, 1974

Lehmann, G.:
Photogrammetrie.
Verlag W. de Gruyter u. Co., Berlin, 1969

MacGregor, A. R., I. Newton, R. S. Gilder:
A stereophotogrammetric method of investigating facial chances following the loss of teeth.
Med. Biol. Illus. 21, 75-82, 1971

Mansbach, M.:
Die Stereophotogrammetrie als Hilfsmittel in der Orthodontie.
Zeitschr. für zahnärztl. Orthopädie 4, 106, 1922

Nyquist, G., P. Tham:
Methods of measuring volume movements of impression, model and prosthetic base materials in a photogrammetric way.
Acta Odont. Scand. 9, 1951

Rogers, G. W.:
Standard views in oral photographic practice.
Med. Bio. Illus. 21, 134-41, 1971

Santos jun., J. dos:
Stereophotogrammetry. Development of a method for the measurement of the occlusal surfaces of the teeth.
Rev. Fac. Odont. S. Paulo 6, 245-52, 1968

Santos jun., J. dos, E. Matson, D. Guidi, Wajngarten II:
Stereophotogrammetry. Morphologic Study of the value of lines and angles of the occlusal third of the first upper bicuspid.
Rev. Fac. Odont. S. Paulo 7, 293-307, 1969

Savara, B. S.:
Application of Photogrammetry for quantitative study of tooth and face morphology.
Amer. J. Phys. Anthrop. 23, 427-434, 1965

Schmuth, G. P. F.:
Kieferorthopädie.
G. Thieme Verlag, Stuttgart 1973

Servoss, J. M., J. P. Sande:
Palatal plug analysis.
J. of Clinic. Orthodont. VIII, 9, 506, 1974

Thalmann-Degen, P.:
Die Stereophotogrammetrie, ein diagnostisches Hilfsmittel in der Kieferorthopädie.
Diss., Zürich 1944

Tham, P.:
Photogrammetric application in dentstry.
Photogrammetric Eng. 23, 668-670, 1957

van der Linden, F. P. G. M., H. Boersma, T. Zelders, K. A. Peters, J. H. Raaben:
Three-dimensional analysis of dental casts by means of the optocom.
J. Dent. Res. 51, 4, 1972

van der Linden, F. P. G. M.:
Illustration und Beschreibung des Optocom-Systems.
Unveröffentlichter Artikel der Katholieke Universiteit, Nijmegen

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. Dr. Schmuth für die freundliche Überlassung des Themas danken.
Weiterhin spreche ich Herrn Prof. Dr. Kellner für die technische Beratung, Frau Dr. Freisfeld für das zur Verfügung gestellte Bildmaterial und Frau Schramel für die Photolaborarbeiten meinen Dank aus.

Lebenslauf und Bildungsgang

Ich, Hans Wolfgang Leiner, wurde am 17. März 1948 in Pirmasens als Sohn des Redakteurs Herbert Willi Leiner und dessen Ehefrau Alice, geb. Döring, geboren.

1955-1956 besuchte ich die Volksschule in Pirmasens, 1956-1959 die Volksschule Bonn-Endenich.
1959 bestand ich die Aufnahmeprüfung am Staatlichen Beethoven-Gymnasium in Bonn. Hier legte ich am 6. Juni 1967 die Reifeprüfung ab.

1968 begann ich das Studium der Naturwissenschaften an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn, wo ich 1969 die Zulassung zum Studium der Zahnmedizin erhielt.

Im Herbst 1969 bestand ich das Vorphysikum, im Frühjahr 1971 das Physikum.
Zum Herbsttermin 1973 legte ich das zahnärztliche Staatsexamen ab.